



**CONFERINȚA TEHNICO-ȘTIINȚIFICĂ
A STUDENȚILOR, MASTERANZILOR ȘI DOCTORANZILOR**

14-16 mai 2025

**THE TECHNICAL SCIENTIFIC CONFERENCE
OF UNDERGRADUATE, MASTER AND PHD STUDENTS**

May 14-16, 2025

VOL. I



Chișinău 2026

CZU 082=135.1=111=161.1
C 64

Ediția 2025 a Conferinței Tehnico-Științifice a Studenților, Masteranzilor și Doctoranzilor este publicată sub forma unei culegeri de articole, structurată în patru volume tematice, care reflectă diversitatea domeniilor tehnico-științifice. Volumul I cuprinde culegerea de articole aferentă secțiunilor: *Electronică și Telecomunicații*, *Energetică și Inginerie Electrică*, *Calculatoare, Informatică și Microelectronică*.

Procesul de colectare și evaluare a lucrărilor a fost realizat utilizând un sistem electronic de management al conferințelor (OpenConf), iar diseminarea informațiilor privind conferința și lucrările publicate a fost asigurată prin intermediul site-ului oficial al conferinței (<https://csmd.utm.md>).

DESCRIEREA CIP A CAMEREI NAȚIONALE A CĂRȚII DIN RM

Conferința tehnico-științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor = The Technical Scientific Conference of Undergraduate, Master and PhD Students: 14-16 mai 2025, [Chișinău] / comitetul științific: Bostan Viorel [et al.].

– Chișinău: Tehnica-UTM, 2026 – . – ISBN 978-9975-64-612-3.

Cerințe de sistem: PDF Reader.

Vol. 1. – 2026. – 873 p.: fig. color, tab. – Antetit.: Universitatea Tehnică a Moldovei. – Texte, rez.: lb. rom., eng., rusă. – Referințe bibliogr. la sfârșitul art. – ISBN 978-9975-64-613-0 (PDF).

082=135.1=111=161.1

C 64

Bun de tipar 05.01.26

Forma electronica

Comanda nr. 06

MD-2004, Chișinău, bd. Ștefan cel Mare și Sfânt, 168, UTM

MD-2045, Chișinău, str. Studenților, 9/9, Editura „Tehnica-UTM”

ISBN 978-9975-64-612-3 (PDF)

ISBN 978-9975-64-613-0 (Vol. I)

© Universitatea Tehnică a Moldovei, 2026

COMITETUL ȘTIINȚIFIC:

BOSTAN Viorel, dr. hab., prof. univ., rector, UTM, Rep. Moldova;
TRONCIU Vasile, dr. hab., prof. univ., prorector pentru cercetare, UTM, Rep. Moldova;
MONAICO Eduard, dr. hab., conf. cercet., Șef Direcția Managementul Cercetării Științifice, UTM, Rep. Moldova;
SIMINIUC Rodica, dr. hab., conf. univ., Director Școala Doctorală, UTM, Rep. Moldova;
BUZEA Carmen, dr., prof.univ., Prorector pentru activitatea de cercetare științifică și informatizare, Universitatea Transilvania din Brașov, România;
CORCIOVĂ Călin, dr., conf. univ., Universitatea de Medicină și Farmacie „Grigore T. Popa”, Iași, România;
COTEAȚĂ Margareta, dr., conf. univ., Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași, România;
MUNTEANU Radu Adrian, dr. ing. hab., prof.univ., Universitatea Tehnică, Cluj-Napoca, România;
CEPOI Liliana, dr. hab., conf. cercet., Director Institutul de Microbiologie și Biotehnologie, UTM, Rep. Moldova;
TÎRȘU Mihai, dr., conf. univ., Director Institutul de Energetică, UTM, Rep. Moldova;
COJOCARU Victor, dr., conf. univ., Director Institutul de Inginerie Electronică și Nanotehnologii, UTM, Rep. Moldova;
BRAGA Dumitru, dr., lect. univ., decan FEIE, UTM, Rep. Moldova;
BRAGUȚA Eugeniu, dr., conf. univ., decan FUA, UTM, Rep. Moldova;
BUZDUGAN Artur, dr. hab., prof. univ., director CNIB, FCIM, UTM, Rep. Moldova;
CILOCI Rafael, dr., conf. univ., decan FIEB, UTM, Rep. Moldova;
CIORBĂ Dumitru, dr., conf. univ., decan FCIM, UTM, Rep. Moldova;
DÎNTU Sergiu, dr., conf. univ., decan FIMIT, UTM, Rep. Moldova;
MOROZ Mihail, dr., lect. univ., decan FMV, UTM, Rep. Moldova;
NISTOR-LOPATENCO Livia, dr., conf. univ., decan FCGC, UTM, Rep. Moldova;
POPA Sergiu, dr., conf. univ., decan FȘASM, UTM, Rep. Moldova;
SAVA Lilia, dr., conf. univ., decan FET, UTM, Rep. Moldova;
SUBOTIN Iurie, dr., conf. univ., decan FTA, UTM, Rep. Moldova;
IROVAN Marcela, dr., conf. univ., decan FD, UTM, Rep. Moldova.

SCIENTIFIC COMMITTEE:

BOSTAN Viorel, Dr. habil., Prof., Rector of UTM, Rep. of Moldova;
TRONCIU Vasile, Dr. habil., Prof., Vice-rector for research and doctorate, UTM, Rep. of Moldova;
MONAICO Eduard, Dr. habil., Research Assoc. prof., Head of Direction of Scientific Research Management, UTM, Rep. of Moldova;
SIMINIUC Rodica, Dr. Habil., Assoc. prof., Director of the PhD School, UTM, Rep. of Moldova;
BUZEA Carmen, Dr., Prof., Vice-rector for scientific research activity and informatization, Transilvania University of Brașov, Romania;
CORCIOVĂ Călin, Dr., Prof., Grigore T. Popa University of Medicine and Pharmacy, Iasi, Romania;
COTEAȚĂ Margareta, Dr., Gheorghe Asachi Technical University of Iasi, Romania;
MUNTEANU Radu Adrian, Dr. ing. habil., Prof., Technical University of Cluj-Napoca, Romania;
CEPOI Liliana, dr. hab., Research Assoc. prof., Director of Microbiology and Biotechnology, UTM, Rep. Moldova;
TÎRȘU Mihai, dr., conf. univ., Director of Institute of Power Engineering, UTM, Rep. Moldova;
COJOCARU Victor, dr., conf. univ., Director of Institute of Electronic Engineering and Nanotechnologies "D. Ghițu", UTM, Rep. Moldova;



BRAGA Dumitru, Dr., Univ. lect., dean FEEE, UTM, Rep. of Moldova;
BRAGUȚA Eugeniu, Dr., Assoc. prof., dean FAUP, UTM, Rep. of Moldova;
BUZDUGAN Artur, Dr. habil., Prof. univ., FCIM, UTM, Rep. of Moldova;
CILOCI Rafael, Dr., Assoc. prof., dean FEEB, UTM, Rep. of Moldova;
CIORBĂ Dumitru, Dr., Assoc. prof., decan FCIM, UTM, Rep. of Moldova;
DÎNTU Sergiu, Dr., Assoc. prof., dean FMET, UTM, Rep. of Moldova;
MOROZ Mihail, Dr., Assoc. prof., dean FVM, UTM, Rep. Moldova;
NISTOR-LOPATENCO Livia, Dr., Assoc. prof., dean FCGC, UTM, Rep. of Moldova;
POPA Sergiu, dr., Assoc. prof., dean FAFAS, UTM, Rep. Moldova;
SAVA Lilia, Dr., Assoc. prof., dean FET, UTM, Rep. of Moldova;
SUBOTIN Iurie, Dr., Assoc. prof., dean of FFT, UTM, Rep. of Moldova;
IROVAN Marcela, Dr., Assoc. prof., dean FD, UTM, Rep. of Moldova

.

COMITETUL ORGANIZATORIC:

ABABII Nicolai, dr., conf. univ., Dep. Microelectronică și Inginerie Biomedicală, FCIM, UTM, Rep. Moldova;
ADASCALIȚA Lucia, dr., lect. univ., FD, UTM, Rep. Moldova;
ANDRONOVICI Diana, lect. univ., Dep. Arhitectură, FUA, UTM, Rep. Moldova;
BARCARI Dina, dr., lect. univ., Dep. Științe Socio-Umane, FCIM, UTM, Rep. Moldova;
BATÎRU Grigorii, dr., conf. univ., Dep. Agronomie și Mediu, FȘASM, UTM, Rep. Moldova;
BURBULEA Rodica, dr., conf. univ., Dep. Economie și Management, FIEB, UTM, Rep. Moldova;
COCIU Valeriu, dr., conf. univ., Dep. Științe Fundamentale și Clinice, FMV, UTM, Rep. Moldova;
GUȚU-CHETRUȘCA Corina, dr., lect. univ., Dep. Energetică, FEIE, UTM, Rep. of Moldova;
MALCOCI Iulian, dr., conf. Dep. Bazele Proiectării Mașinilor, FIMIT, UTM, Rep. of Moldova;
MOCREAC Olga, dr., lect. univ., Dep. Fizică, FET, UTM, Rep. of Moldova;
PALADI Daniela, dr., conf. Dep. Alimentație și Nutriție, FTA, UTM, Rep. Moldova;
ȚIBICHI Viorica, dr., conf., Dep. Inginerie Civilă și Geodezie, FCGC, UTM, Rep. Moldova;

ORGANISING COMMITTEE:

ABABII Nicolai, Dr., Assoc. Prof., Dep. MIB, FCIM, UTM, Rep. of Moldova;
ADASCALIȚA Lucia, Dr., Lect., FD, UTM, Rep. of Moldova;
ANDRONOVICI Diana, Lect., Dep. Arhit., FUA, UTM, Rep. of Moldova;
BARCARI Dina, Dr., Lect., Dep. Socio-Human Sciences, FCIM, UTM, Rep. of Moldova;
BATÎRU Grigorii, Dr., Assoc. Prof., Dep. AE, FAFAS, UTM, Rep. of Moldova;
BURBULEA Rodica, Dr., Assoc. Prof., Dep. EM, FIEB, UTM, Rep. of Moldova;
COCIU Valeriu, Dr., Assoc. Prof., Dep. FCS, FVM, UTM, Rep. of Moldova;
GUȚU-CHETRUȘCA Corina, Dr., Univ. lect., Dep. PE, FEIE, UTM, Rep. of Moldova;
MALCOCI Iulian, Dr., Assoc. prof., Dep. BPM, UTM, Rep. of Moldova;
MOCREAC Olga, Dr., Lect., Dep. Physics, FET, UTM, Rep. of Moldova;
PALADI Daniela, Dr., Assoc. prof., Dep. AN, FFT, UTM, Rep. of Moldova;
ȚIBICHI Viorica, Dr., Assoc. prof., Dep. ICG, FCGC, UTM, Rep. of Moldova.

CUPRINSUL / CONTENTS

SECȚIA ELECTRONICĂ ȘI TELECOMUNICAȚII SECTION OF ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS

Larysa GLOBA, Andrii ASTRAKHANTSEV, Andrii RAICHUK

EFFECTIVENESS INVESTIGATION OF V2V ROUTING PROTOCOLS 18

Otilia GUȘAN, Ilinca OSIPOV

LEADERSHIPUL ȘI CULTURA ORGANIZAȚIONALĂ ÎN COMPANIILE DE
TELECOMUNICAȚII: ABORDĂRI COMPARATE LA NIVEL GLOBAL..... 25

Nelea MANIN

IMPLEMENTAREA MATERIALULUI PLASTIC ARMAT CU FIBRĂ DE STICLĂ
(GFRP) ÎN INFRASTRUCTURA DIN DOMENIUL TELECOMUNICAȚIILOR..... 32

Serhiy SAMSONOV , Larysa GLOBA

SYSTEM DESIGN FOR IOT TRANSMITTERS WITH DYNAMIC
APPLICATION-LAYER PROTOCOL SWITCHING 36

Andrei NITREANU

INTEGRAREA MECANISMELOR DE ÎNVĂȚARE AUTOMATĂ ÎN PROCESUL
DE DETECȚIE AVANSATĂ A AMENINȚĂRILOR CIBERNETICE
ÎN MEDIILE CLOUD 39

Daniela GUȚU

OPTOELECTRONICA - FUNDAMENT TEHNOLOGIC AL
REALITĂȚII VIRTUALE ȘI AUGMENTATE 47

Ariana ȚENU

IMPACTUL INVESTIȚIILOR ÎN INFRASTRUCTURA DE TELECOMUNICAȚII
ASUPRA ECONOMIEI NAȚIONALE 51

Taisia SEPELEVICI

QUANTUM KEY DISTRIBUTION: SECURING THE FUTURE OF TELECOM 55

Valeria CHIRILIUC

BEYOND WI-FI: HOW LI-FI IS TRANSFORMING WIRELESS CONNECTIVITY 57

Nelea MANIN

MANAGEMENTUL RESURSELOR UMANE ÎN ECHIPE MULTICULTURALE
ÎN TELECOMUNICAȚII..... 61

Daniela GUȚU

ROLUL INGINERIEI SOCIALE ȘI AL VULNERABILITĂȚILOR DIN
PROTOCOALELE DE TELECOMUNICAȚII ÎN ATACURILE ASUPRA IDENTITĂȚII
MOBILE 65

Cristin DJANOSLVACHII

EVALUAREA SISTEMELOR INTEGRATE DE CONTROL AL ACCESULUI ÎN
LABORATOARELE UNIVERSITARE UTM PRIN RECUNOAȘTERE FACIALĂ 69

Arina MOISEI

HYPERSPECTRAL IMAGING FOR MONITORING AGRICULTURAL CROP IMAGERY CAPTURED WITH DRONES	75

Ariana ȚENU

LEADERSHIP-UL COMPARATIV: MODELE DE SUCCES ÎN DIFERITE CULTURI	81

Andrei NITREANU, Victor SCLIFOS

ZERO TRUST NETWORK ACCESS CA STRATEGIE ADAPTIVĂ ÎN FAȚA DINAMISMULUI ATACURILOR CIBERNETICE MODERNE.....	85

Mihai DRAGAN

SATELLITE COMMUNICATION AND STARLINK: THE FUTURE OF GLOBAL CONNECTIVITY	91

Victor SCLIFOS

METODOLOGII AVANSATE DE PROTECȚIE A CONȚINUTULUI ÎN CADRUL PLATFORMELE OTT ÎN CONTEXTUL PROVOCĂRIILOR DE SECURITATE	95

Nelea MANIN

SISTEME ANTI-GPT ȘI DETECTAREA TEXTELOR GENERATE DE INTELIGENȚA ARTIFICIALĂ (IA).....	100

Arina MOISEI, Dumitru PALAMARCIUC

STUDIUL GESTIONĂRII TIMPULUI ÎN CADRUL ACTIVITĂȚII DIDACTICE	105

Valeria ȚURCAN

DE LA BON PE HÂRTIE LA DATE DIGITALE: UN SISTEM EFICIENT PENTRU VERIFICAREA FISCALĂ	109

Cristian JEVERDAN

MANAGEMENTUL RESURSELOR UMANE ÎN ORGANIZAȚII GLOBALE	114

Максим ЖЕЛЕЗОГЛО, Александр БРАТУНОВ

КВАНТОВАЯ КРИПТОГРАФИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ДАННЫХ.....	118

Marius GROSU, MOLDOVAN Nicolae

DIGITALIZAREA ȘI TRANSFORMAREA DIGITALĂ A ORGANIZAȚIILOR: O ABORDARE COMPARATIVĂ	122

Cristian JEVERDAN, Marius GROSU, Nicolae MOLDOVAN, Maria GRÎȚCO

APLICAREA METODEI MANAGERIALE ELECTRE PENTRU SELECTAREA ALTERNATIVEI OPTIME PRIVIND INVESTIȚIILE TEHNOLOGICE ÎN INDUSTRIA COMUNICAȚIILOR ELECTRONICE.....	128

Евгений РОМАНЕНКО, Ксения ЗИБИК, Татьяна КУШНИР

СЕТИ 5G И 6G ДЛЯ ПОТОКОВОЙ ПЕРЕДАЧИ VR/AR БЕЗ ЗАДЕРЖЕК	137

Виталий САНДУЦА

ТЕХНОЛОГИИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ОБЛАСТИ 6G: ТЕРАГЕРЦОВЫЙ СПЕКТР, ОПТОЭЛЕКТРОНИКА, ИИ И ПЕРЕДОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ.....	137

Cristian JEVERDAN

INTEGRAREA LI-FI ȘI 6G PENTRU COMUNICAȚII ULTRA-RAPIDE	141

Marius GROSU

CIPURI OPTICE ȘI REȚELE HIBRIDE ELECTO-OPTICE	145

Nicolae MOLDOVAN

CARE ESTE POTENȚIALUL METAMATERIALELOR DE A OPTIMIZA PROPAGAREA SEMNALELOR ELECTROMAGNETICE ÎN MEDII COMPLEXE ȘI PERSPECTIVĂ.	152

Mocanu Dinu

AI IN TELECOMMUNICATIONS.....	157

Vladislava CEBAN

THE NEXT FRONTIER OF WIRELESS COMMUNICATION	161

Maxim TODERICA

6G AND THE FUTURE OF TELECOMMUNICATIONS.....	164

Ion GÎNDEA

5G TECHNOLOGY	168

Дмитрий ПАЛАМАРЧУК, Ольга КАЛЧУ, Богдан ПРОЦЕНКО

ИНТЕГРАЦИЯ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ В СИСТЕМЫ LI-FI	171

SECȚIA ENERGETICĂ ȘI INGINERIE ELECTRICĂ SECTION OF ENERGETICS AND ELECTRICAL ENGINEERING

Ruslan BALACCI

FUNDAMENTE STANDARDIZATE A BATERIEI TERMICE PE BAZĂ DE PARAFINĂ.....	175

Corneliu RĂILEANU, Valentin BÂNZAR, Florin TESLARI

SENSOR DE LUNGIME CU POTENȚIOMETRU MULTIROTATIV PENTRU AUTOMATIZAREA GOMACO	179

Florin TESLARI, Corneliu RĂILEANU, Valentin BÂNZARU

IMPLEMENTAREA INSTALAȚIEI ELECTRICE PENTRU CONTROLUL AUTOMATIZAT ȘI TELECOMANDAT AL TRACTORULUI GOMACO 3600 DE TURNARE A STRUCTURILOR DIN BETON	184

Gabriel JOSANU

PROMOVAREA MĂSURILOR DE EFICIENȚĂ ENERGETICĂ ÎN SECTORUL REZIDENȚIAL DIN REPUBLICA MOLDOVA.....	189

Valentin BÂNZARU, Corneliu RĂILEANU, Florin TESLARI

AUTOMATIZAREA FUNCȚIONĂRII UTILAJULUI DE TURNARE CONTINUĂ GOMACO GT3600.....	192

Marcel MORARU

REDUCEREA PIERDERILOR EXERGETICE ÎN DEPOZITELE DE PRODUSE PETROLIERE PRIN AUTOMATIZAREA PROCESELOR TEHNOLOGICE ȘI APLICAREA CERINȚELOR HG 587/2020 PRIVIND CONTROLUL EMISIILOR DE VAPORI DIN BENZINĂ	198

Corneliu RĂILEANU, Valentin BÂNZARU, Florin TESLARI

HARTĂ DEMONSTRAIVĂ A ENERGIEI VERZI ALIMENTATĂ DE LA BICICLETĂ	202

Mariana CHIVIRIGA

UTILIZAREA PILELOR DE COMBUSTIE CU HIDROGEN ÎN CONTEXTUL TRANZIȚIEI ENERGETICE	207

Ghenadie TERTEA

STUDIUL PRIVIND ÎNFĂȘURĂRILE MOTOARELOR HEXAFAZATE	210

Andrei IVANOV

MENTENANȚA ȘI DIAGNOZA ECHIPAMENTELOR ELECTRICE PRIN TERMOGRAFIE	214

Ciprian SAVCIUC, Valentin BÂNZARU

PROIECTAREA ȘI ELABORAREA MACHETEI A UNEI PARCĂRI SUSTENABILE PENTRU BICICLETE ȘI TROTINETE	218

Galina VERDEȘ

MODEL DIGITAL CA INSTRUMENT PENTRU AUDITUL ENERGETIC AL BLOCURILOR LOCATIVE: O ABORDARE CONCEPTUALĂ PENTRU REPUBLICA MOLDOVA	226

Ciprian SAVCIUC

CALCULAREA ȘI ALEGEREA CABLURILOR PENTRU O PARCARE SUSTENABILĂ	231

Vasile BODIU

IMPACTUL INSTALĂRII PUNCTELOR TERMICE INDIVIDUALE ASUPRA SISTEMELOR DE ALIMENTARE CENTRALIZATĂ CU ENERGIE TERMICĂ	237

Andrei BOTNARU

AGRIVOLTAICS: THE FUSION BETWEEN AGRICULTURE AND PHOTOVOLTAIC PANELS FOR MORE EFFICIENCY ON BOTH ENDS	242

Gheorghe – Cristian ANGHEL

WIRELESS POWER TRANSFER FOR SPACECRAFT & ORBITAL ENERGY BEAMING	246

Victor CHIRIAC

MODERNIZING MOLDOVA'S ENERGY INFRASTRUCTURE: INTEGRATING RENEWABLE SOURCES AND SMART GRID TECHNOLOGIES	251

Sandu ȘUMILA

THE INTEGRATION OF NANOTECHNOLOGY IN ELECTRICAL ENGINEERING	255

ROȘCA DENIS

STUDIUL CIRCUITELOR MAGNETICE ALE ELECTROMAGNEȚILOR	260

Alexandru STRATULAT

HIDROGEN AS A CLEAN ENERGY CARRIER: STRATEGIC ROLE AND TECHNOLOGICAL POTENTIAL IN THE GLOBAL ENERGY TRANSITION	265

NEGRU Vasile

TRANSFORMAREA SECTORULUI ENERGETIC: ANALIZA POLITICILOR ȘI REGLEMENTĂRIILOR ÎN DOMENIUL ENERGIIILOR REGENERABILE ÎN REPUBLICA MOLDOVA ȘI UNIUNEA EUROPEANĂ.....	269

Ana-Maria TVERDOHLEB, Adrian CATERENCIUC

DETERMINAREA PUNCTELOR DE STABILITATE ȘI INSTABILITATE A ARCULUI ELECTRIC DE CURENT CONTINUU.....	273

Maxim ENACHI, Alexandru ZAPIVAC

AUTOMATIZAREA UNEI LINII DE TRANSPORTARE ȘI SORTARE UTILIZÂND CONTROLERUL LOGIC PROGRAMABIL	278

Victor BANARI

UTILIZAREA SOFTWARE-ULUI QGIS ÎN REȚELELE ELECTRICE DE DISTRIBUȚIE	283

Ion CACEAN

AMPRENTA CARBONICĂ, NEUTRALITATEA CLIMATICĂ.....	287

Mirela DEMIANIC

ROLUL MODERNIZĂRII REȚELELOR ELECTRICE INTELIGENTE ÎN DOMENIUL ENERGETIC	293

Cristian HAIDUCU

ASPECTE DE INTEGRARE A SURSELOR DE ALIMENTARE PENTRU ASCENSOARELE DE PASAGERI.....	297

SECȚIA CALCULATOARE, INFORMATICĂ ȘI MICROELECTRONICĂ SECTION OF COMPUTERS, INFORMATICS AND MICROELECTRONICS

SUBSECȚIA INGINERIE SOFTWARE ȘI SECURITATE SOFTWARE ENGINEERING AND SECURITY SUBSECTION

Ion IAMANDII, Patricia MORARU, Augustin PLOTEANU, Vladislav TITEREZ

DOMAIN-SPECIFIC LANGUAGE FOR SOLVING CHEMICAL PROBLEMS	303

Eduard BUCARI

SWARM INTELLIGENCE IN CYBERSECURITY: THE FUTURE OF ADAPTIVE DEFENSE.....	307

Alina KERNUS

AI – THE TRANSFORMATIVE FORCE IN GAME DEVELOPMENT.....	311

Ion COBZARI, Alexandra CRUDU, Mihai GURDUZA, Sava LUCHIAN, Cosmin UȘURELU

DOMAIN-SPECIFIC LANGUAGE FOR MODELING HISTORICAL TIMELINES	314

Constantin BARGAN, Adina PÎNTEA, Maria SADOVOI

O ABORDARE MODERNĂ A ARHITECTURII SOFTWARE: MONOLITUL MODULAR.....	319

Victoria MUTRUC, Maxim ALEXEI, Adrian VREMERE, Gabriel MORARU	
GRAPHIXLANG. A BATCH IMAGE PROCESSING DSL	327
Mihaela UNTU, Ciprian MOISENCO, Cristian BULAT, Vladislav ȚURCANU	
PLANIFY - DOMAIN SPECIFIC LANGUAGE FOR FLOOR PLANNING	333
Dmitrii BELÎH, Alexandra MIHALEVSCHI, Alexandra BUJOR-COBILI, Denis TATARINȚEV, Ivan RUDENCO	
DOMAIN-SPECIFIC LANGUAGE FOR STRUCTURED MEAL PLANNING AND FITNESS REGIMEN AUTOMATION	339
Anastasia TIGANESCU, Daniela COJOCARI, Janeta GRIGORAS, Maxim ISACESCU, Vladimir VITCOVSCHII	
CHARTLAB: REDEFINING DATA VISUALIZATION THROUGH A DECLARATIVE LANGUAGE DESIGN	345
Cristian LAPTEACRU, Dan GUZOVATÎI	
IMPACTUL UTILIZĂRII INTELIGENȚEI ARTIFICIALE ÎN CREAREA PREZENTĂRIILOR	349
Cătălin RUSU	
GENERAREA ȘI OPTIMIZAREA HĂRȚILOR INTERACTIVE CU REACT LEAFLET ÎN APLICAȚII WEB MODERNE	353
Liviu MOISEI, Liviu MOCANU	
MITIGATING THE TOP 5 OWASP API SECURITY RISKS USING GATEWAY PATTERNS	362
Rubin URSU	
OPTIMIZAREA PERFORMANȚEI LIMBAJULUI JAVA: ANALIZA COMPARATIVĂ ÎNTRE COMPILAREA AOT ȘI JIT	369
Ion CABAC	
ANALIZA COMPARATIVĂ A MODURILOR DE RANDARE ÎN BLAZOR	374
Artiom BOZADJI, Adrian BURDUJA, Andreea GUREV, Nicolae MARGA, Vasile PASCARI, Artur ȚUGUI	
MUSiTEX DSL FOR TEXT BASED MUSIC COMPOSITION	378
Ștefan GALIȚ, Mihai PARASII, Nicolae DIMITRAȘ	
ANALIZA PROIECTĂRII ȘI DEZVOLTĂRII ARHITECTURII APLICAȚIILOR	383
Mihai PARASII	
ANALIZA UTILIZĂRII CRIPTOGRAFIEI ÎN BLOCKCHAIN	388
Daniela AFTENI	
IMPACT OF DESIGN PATTERNS ON MAINTAINABILITY IN COMPLEX SOFTWARE SYSTEMS	393
Valeri BOLOCAN	
STUDIU COMPARATIV ÎNTRE SERVER-SIDE RENDERING (SSR) ȘI CLIENT-SIDE RENDERING (CSR) ÎN FRAMEWORK-UL ANGULAR	399

Leon BRÂNZAN

AUTONOMOUS DRONE NAVIGATION METHODS REVIEW 404

Mihaela CATAN, Daniela CEBOTARI, Ion VORNICESCU, Gheorghe GURSCHI

GRAVITY: A DOMAIN-SPECIFIC LANGUAGE FOR PHYSICS EDUCATION 412

Nicolae DIMITRAȘ, Mihai PARASII, Ștefan GALIȚ

PROCESAREA LIMBAJULUI NATURAL. CUM LIMBAJELE FORMALE ȘI
AUTOMATELE FINITE STAU LA BAZA INTERACȚIUNII OM-CALCULATOR.....417

Anastasia LAZA

EVALUAREA RISCURILOR ȘI VULNERABILITĂȚILOR ÎN SISTEMELE
INFORMAȚIONALE: ROLUL PENTESTINGULUI ÎN MANAGEMENTUL
AMENINȚĂRILOR CIBERNETICE 421

Timur CRAVȚOV, Alexandru RUDOI, Elena ROMAȘENCO,
Islam ABU-KOUSH, Artemie ILICO, Maxim ROENCO

AION – A LANGUAGE FOR MANAGING ICALENDAR DATA 425

Dumitru AGATIEV, Andrei VALCIUC

ENCRYPTION, CONSENT, AND CONTROL: TECHNICAL PILLARS OF GDPR 430

Elena GRAUR

THE INFERENCE RELATIONSHIP BETWEEN BIASES AND
HALLUCINATIONS IN GENERATIVE LANGUAGE MODELS 434

Andrei CEAȚCHII, Loredana COSTIN, Daria RAȚEEVA,
Daniel COJOCARU, Maria-Elena BOTNARI

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A DOMAIN-SPECIFIC LANGUAGE FOR
SEQUENCE DIAGRAM MODELING 439

Ernest BÎTCA

RESILIENCE IN MULTICHAIN ARCHITECTURES WITHIN THE WEB3
ECOSYSTEM.....444

Ruslan SOLOGUB

SECURITATEA OPERAȚIUNILOR FINANCIARE ÎN
SISTEME DESCENTRALIZATE 449

Vladlen MÎȚU, Filip OBRIJAN, Dmitrii CVASIUC, Nichita GANCEAR

CVASIUCDSL 456

Anastasia CUNEV, Irina RACOVCEA

LIDAR DATA AND SATELLITE IMAGE PROCESSING PLATFORM FOR
GEOSPATIAL ANALYSIS 461

Victor GAFENCO, Gabriel BALAN, Daniel MOISEI

ALTERNATIVES TO THE IEEE STANDARD FLOATING-POINT
REPRESENTATION.....465

Ana ȚURCAN

ANALIZA COMPARATIVĂ A IMPLEMENTĂRII ANTETURILOR HTTP DE
SECURITATE ÎN REPUBLICA MOLDOVA ȘI ROMÂNIA ÎN CONTEXTUL
SECURITĂȚII CIBERNETICE REGIONALE 471

Tudor DEVIZA

TESTAREA AUTOMATĂ A APLICAȚIILOR ANDROID UTILIZÂND MODELE LINGVISTICE MARI.....	476

Alexandru NEGARĂ

ADOPTAREA TEHNOLOGIILOR MODERNE ÎN DEZVOLTAREA SISTEMELOR INFORMATICE BAZATE PE TEHNOLOGII WEB.....	479

Nichita RUSNAC

COMPUTING THE VOLUME OF THREE INTERSECTING CYLINDERS WITH ROTATIONAL SYMMETRY	483

Ștefan BÎSTRÎȚCHI, Adrian MANOLE

TRANSITIONING CORPORATE CYBERSECURITY: AN ANALYSIS OF DECENTRALIZED IDENTITY AND ACCESS MANAGEMENT (DIAM).....	490

Evghenia OROȘAN, Patricia REIȚMAN, Maria CUCTA

PROBLEMELE ACTUALE DIN SECURITATEA INFORMAȚIONALĂ.....	494

Andrey UZUN, Kirill BOBOC, Alexander BIRIUCOV

THE DIGITAL REVOLUTION IN EDUCATION	500

Eduard OBERST, Maxim CERETEU, Daniel NICORICI

FAKE NEWS DETECTION USING AI AND MACHINE LEARNING	506

Ecaterina KUSHNIRENKO, Valeria POSTICA, Ionuț ȘOIMU

WI-FI SECURITY IN UNIVERSITIES.....	511

Andrei CLIUCOVȘCHI, Nichita RUSNAC, Olga ȘABAN

A REVIEW ON GOLDBACH CONJECTURE: HISTORY, PROGRESS, OPEN QUESTIONS.....	516

Sergiu DOBOȘ, Denis PLEȘCA, Maxim COSTOV, Ștefan ISTRATI, Pavel CIUMACENCO

CHRONOLANG: A DOMAIN-SPECIFIC LANGUAGE FOR TIME SERIES ANALYSIS AND FORECASTING	521

Tudor DUCA

FROM VMWARE TO DOCKER: TRANSITIONING FROM VIRTUALIZATION TO CONTAINERIZATION FOR MODERN APPLICATIONS.....	525

Andrei CHICU, Gabriel MIRICINSCHI, Alexandru CEBOTARI,
Mihai CARAMAN, Andi BLINDU

VIDLANG – A VIDEO EDITING SCRIPTING SOLUTION	529

Ion BORTĂ

AVANTAJE ȘI DEZAVANTAJE ALE ARHITECTURILOR CQRS ȘI EVENT SOURCING COMPARATIV CU MODELUL CRUD	534

Rustem CIMENDUR, Andrei ELCISCEV, Mihail PANCENCO

EVOLUTION OF PROGRAMMING	540

Magdalena MORARU

SQL VS NOSQL: A COMPARATIVE STUDY OF PERFORMANCE IN MODERN APPLICATIONS.....	545

Aurelian-Mihai TIHON, Lucian-Adrian GAVRIL, Vitalie VASILEAN	
HOW NOTIFICATION DESIGN EXPLOITS COGNITIVE BIASES AND DIMINISHES DIGITAL WELLBEING	549
Bogdan ARAMĂ, Ina PANCENCO, Adelina TEMCIUC	
BRIDGING REALITY AND FANTASY: AN ANALYSIS OF SIMULATED PHYSICS IN INTERACTIVE GAME WORLD	553
Sorin CAPUSTEAN	
INTELIGENȚA ARTIFICIALĂ ÎN TESTAREA DE PENETRARE: OPORTUNITĂȚI ȘI PROVOCĂRI.....	558
Daniel ISTRATI	
LARGE LANGUAGE MODELS VERSUS NATURAL LANGUAGE PROCESSING IN FOREIGN LANGUAGES	562
Grigore GOLAN	
ANALIZĂ COMPARATIVĂ A FRAMEWORK-URILOR DE BACKEND: EVALUAREA PERFORMANȚEI, SCALABILITĂȚII ȘI FLEXIBILITĂȚII PLATFORMELOR MODERNE DE DEZVOLTARE WEB	566
SUBSECȚIA INGINERIA SISTEMELOR SUBSECTION SYSTEMS ENGINEERING	
Alexandra POSTICĂ	
APPLICATIONS OF SOCIAL NETWORK ANALYSIS IN DATA SCIENCE.....	573
Irina TIORA	
IMPLEMENTING A GEODISTRIBUTED DATA STORE WITH LEADERLESS REPLICATION	576
Maria ROTARU	
FIABILITATEA ȘI ESTIMATORI STATISTICI A UNOR REȚELE CU DURATA DE VIAȚĂ A UNITĂȚILOR GEOMETRIC DISTRIBUITĂ.....	582
Daniel MARANDICI	
ÎMBUNĂTĂȚIREA PERFORMANȚEI APLICAȚIILOR SPRING BOOT PRIN REZOLVAREA PROBLEMEI N+1	587
Karina DRANGOI	
SIMULATION OF COLLISION AVOIDANCE STRATEGIES FOR AUTONOMOUS UAV MISSIONS IN NATURAL ENVIRONMENTS	591
Marin NEGAI, Liviu IORDAN, Cristian CRETU, Liviu TOFAN	
IOT-ENABLED MODULAR PLATFORM FOR AGRICULTURAL ROBOT CHASSIS DEVELOPMENT: ADVANCING PRECISION AGRICULTURE IN MOLDOVA	595
Iulia NAMOLOVAN	
ALGORITMI DE REGLARE A TEMPERATURII PENTRU BIOSINTEZA VITAMINEI B12	601

Julia NAMOLOVAN, Albina DONȚU	
SINTEZA REGULATORULUI LA MODELE DE OBIECTE CU UN ZEROU ȘI 1-4 POLI DUPĂ METODA POLINOMIALĂ.....	605
Elena GOLBAN, Daniel CARPOV	
ANALIZA FENOMENULUI DE SUPRAANGAJARE.....	617
Cosmin CIORBĂ, Dan Gabriel CORACI	
AI-BASED CLASSIFICATION OF NATO PHONETIC ALPHABET PHRASES USING A LASER MICROPHONE SYSTEM	622
Cătălin CALANCEA, Elena GOLBAN	
PREDICȚIA CRIMELOR IN ORAȘUL CHICAGO UTILIZÂND SARIMAX.....	628
Ecaterina MUNTEANU, Ludmila FRIPTU, Maria COLȚA, Daniil SCHIPSCHI	
SOLAR POWER MANAGEMENT SYSTEM.....	637
Cristina POTLOG, Elena GOLBAN	
PERSONALIZAREA PROGRAMELOR DE ANTRENAMENT ȘI DIETĂ CU AI: O ABORDARE BAZATĂ PE DATE	641
Olesea BOROZAN, Vlad GUȚU, Vlad CORCODEL	
SISTEM SPECIALIZAT PENTRU IDENTIFICAREA EMOȚIILOR ÎN VORBIRE	648
Mariana OȘOVSCI, Victor LAȘCO, Andrei SPATARI, Maxim KAPUSTEANSKI	
SISTEM DE CALCUL RECONFIGURABIL PENTRU PROIECTAREA ARHITECTURILOR INCORPORATE COLABORATIVE.....	655
Iulian LUNGU, Neonil ROȘCA, Mihail ZAHARENCO, Victor PAVALACHE, Rodion FURTUNA	
SISTEM DE CALCUL PENTRU PROCESAREA CONCURENȚĂ A FLUXURILOR DE DATE	659
Radu MELNIC	
SISTEM MULTI-AGENT PENTRU PLANIFICAREA PROCESELOR DISTRIBUITE ÎN TIMP	664
Neonil ROȘCA, Iulian LUNGU, Andrei SPATARI, Maxim SECRIERU, Alina DONESCO, Nicolai MARINOV	
SISTEM EDGE COMPUTING PENTRU PROCESAREA DATELOR DEFINITE ÎN COORDONATE SPAȚIU-TIMP.....	672
Augustina ROTARI, Nicu DRUMEA, Andrei CLIMA	
SISTEM DECIZIONAL INTERACTIV BAZAT PE INFRASTRUCTURA INTELIGENTĂ	677
Vadim STRUNA, Maxim SECRIERU, Nicolae MARINOV, Alina DONESCO	
SISTEM DE CALCUL ADAPTIV ORIENTAT SPRE SERVICII BAZAT PE INTELIGENȚA COLECTIVĂ	682
Nadejda PALAMARCIUC	
ALGORITMI ANALITICI DE SINTEZĂ A REGULATOARELOR TIPIZATE LA OBIECTE CU AVANS-ÎNTÂRZIERE.....	688

SUBSECȚIA ȘTIINȚA CALCULATOARELOR

SUBSECTION COMPUTER SCIENCE

Lina SCRIPCA

FUNCTIONAL PROGRAMMING IN UNIVERSITIES FROM REPUBLIC OF
MOLDOVA 698

Irina GRIGORAȘ

EVOLUȚIA ALGORITMILOR DE COMPRESIE VIDEO:
DE LA MPEG-1 LA AV1 ȘI H.266 (VVC)..... 702

Daniela PLĂMĂDEALĂ

ALGORITMUL PAGERANK PENTRU EVALUAREA PAGINILOR WEB 706

Mihai BRUMĂ, Pavel LEȘAN, Andrei SPATARI, Vladina TUTUNARU

SISTEM DEDICAT DE CONTROL ÎN BAZA LOGICII FUZZY PENTRU
ACHIZIȚIA, PROCESAREA ȘI PREZENTAREA DATELOR..... 712

Valentina ASTAFI

ANALYSE STATISTIQUE DE L'UNIFORMITÉ : RANDOM.ORG
VERSUS CLASSIC PRNG-URIs 717

Dumitru VLEJU

THE IMPLEMENTATION OF LOGIC GATES IN QUANTUM COMPUTING 722

Dina BUZĂ

MODELAREA STATISTICĂ A SOLICITĂRIILOR BAZELOR DE DATE
UTILIZÂND SISTEME DE AȘTEPTARE 725

Andrei SPATARI, Mihai BRUMĂ, Roman GRIB, Pavel LEȘAN

APLICAREA ALGORITMILOR GENETICI ÎN CADRUL SISTEMELOR
ÎNCORPORATE..... 729

Евгений КАСЬЯН

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ
КУЛИНАРНЫМИ ЗАКАЗАМИ С ПРЕДСКАЗАНИЕМ СПРОСА,
РЕКОМЕНДАЦИЯМИ И АНАЛИЗОМ ОТЗЫВОВ 735

Vladislav AMZA, Mădălina CHIRPICINIC, Dumitru POSTORONCĂ,

Sabina POPESCU, Dumitru RACOVÎȚĂ

MUSIC DSL: A DOMAIN-SPECIFIC LANGUAGE FOR MUSIC
COMPOSITION AND AUTOMATION 739

Артём ХАЕЦКИЙ

МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ И ЕГО РОЛЬ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ 745

Cătălin PLEȘU

ANALIZA EFICIENȚEI LAYOUT-URIILOR DE TASTATURĂ 752

Mihai COȘLEȚ, Margarita MARFOI

ANALIZA COMPARATIVĂ A PYSPARK, DASK ȘI POLARS PENTRU
PRELUCRAREA DISTRIBUITĂ A DATELOR 757

Dinu PLEȘU, Dragoș NEDELEA, Ion DULGHERU	
AI IN SOFTWARE ENGINEERING	761
Andrei CLIMA, Maxim KAPUSTEANSKI	
DOMENII DE APLICARE A DRONELOR.....	766
Ion CERNEI	
EVALUATING WHISPER'S SPEECH TO TEXT PERFORMANCE FOR ROMANIAN USING AUDIO FROM DIVERSE DOMAINS.....	771
Victoria FORTUNA	
LA CYBERSÉCURITÉ ET L INDUSTRIE 4.0	775
Igor VORONA, Dorin VASCAN, Victor GUȘTIUC, Daniel BARBACARI, Valentin TEMCIUC	
SDC A UNUI MOTOR DC BAZAT PE LOGICA FUZZY. PROIECTAREA UNUI SISTEM INTEGRAT PENTRU ACHIZIȚIA, PROCESAREA ȘI PREZENTAREA DATELOR PENTRU CONTROLUL UNUI MOTOR DC.....	780

SUBSECȚIA MICROELECTRONICĂ ȘI NANOTEHNOLOGII

SUBSECTION MICROELECTRONICS AND NANOTECHNOLOGIES

Cristian ZELENCOV, Cătălin CRECIUNEL	
DEVELOPMENT OF A PORTABLE SMD TESTER WITH UART-BASED DATA TRANSMISSION	786
Cătălin CRECIUNEL, Adrian BÎRNAZ	
REFERENCE RADIATION SENSOR MODULE OF THE BIRDS-RPM SATELLITE: DESIGN AND FUNCTIONALITY	790
Владислав КИРИЛЕНКО	
ВЛИЯНИЕ ДВУМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ В МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ.....	794
Maxim CHIRIAC	
PROPRIETĂȚILE SENZORIALE A HETEROSTRUCTURILOR DE ZnO/TiO ₂ :Pd ÎN SPECTRUL ULTRAVIOLET	807
Alexandr CHIRIAC, Maxim CHIRIAC	
DEZVOLTAREA CAMEREI PENTRU SISTEMUL DE MĂSURARE ȘI CERCETARE A SENZORILOR	811
Cătălin CECHIN, Darius ȚURCAN	
ELABORAREA NANOMEMBRANELOR DE GaN PENTRU APLICAȚII SENZORICE	815
Nicolae RUSU, Sergiu PASCARI, Maxim CHIRIAC	
AUTOMATION OF THE RAPID PHOTONIC TREATMENT INSTALLATION	821
Delia ȚUGUI, Anastasia MOVILEAN	
MAGNETIC FIELD-CONTROLLED NANOROBOTS IN ONCOLOGY: EMERGING APPROACHES FOR PRECISION DRUG DELIVERY AND MINIMALLY INVASIVE CANCER THERAPY	827

Daniel ȚÎRCHE

PLATFORMĂ SMART INVENTORY PENTRU GESTIUNEA
STOCURILOR BAZATĂ PE SCANER 1D/2D 832

Adrian BÎRNAZ, Mihai BRÎNZĂ

MODUL DE MONITORIZARE A UMIDITĂȚII RELATIVE ÎNTR-O
CAMERĂ DE MĂSURARE A SENZORILOR 837

Sergiu PASCARI, Nicolae RUSU, Maxim CHIRIAC

ACCURATE ACQUISITION OF ANALOG SIGNALS IN POWER
ELECTRONICS: TECHNIQUES, ERRORS, AND PRACTICAL SOLUTIONS..... 843

Alexandru RAILEAN, Andrian CHEPTENE

DEVELOPMENT OF THE ENERGY CONSUMPTION MONITORING
SYSTEM WITH REMOTE CONTROL 849

Valentin SACA, Simon BUSUIOC

INFLUENȚA TRATAMENTULUI TERMIC ASUPRA FORMĂRII ȘI
PROPRIETĂȚILOR STRATURILOR DE OXID DE FIER
OBȚINUTE PE FOLII DE FIER..... 853

Alexandru RAILEAN, Andrian CHEPTENE

MAGNETIC MIXING DEVICE 858

Irina NEDEALCOVA, Dmitrii BUJILOV, Dmitrii CRAVCENCO, Alexandr CIORNII

IOT-GREENHOUSE CLIMATE CONTROL 862

Ecaterina CRISTEA

INTEFERENȚA ÎN REGIUNEA EXCITONICĂ A MONOCRISTALELOR
STRATIFICATE..... 868



SECȚIA ELECTRONICĂ ȘI TELECOMUNICAȚII
SECTION OF ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS

EFFECTIVENESS INVESTIGATION OF V2V ROUTING PROTOCOLS

Larysa GLOBA, Andrii ASTRAKHANTSEV, Andrii RAICHUK*

*Department of Information Technologies in Telecommunication, Electronic communications and radio engineering,
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine*

Andrii RAICHUK, raaukr@gmail.com

Tutor/coordinator: **Larysa GLOBA**, Doctor of Technical Sciences, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

Abstract. *The paper investigates the effectiveness of routing protocols in vehicle-to-vehicle (V2V) networks. To ensure robust data delivery in dynamic vehicular environments, the selection of a suitable routing protocol is critical. The aim of the work is to determine the conditions under which specific protocols demonstrate the highest performance. Reactive (AODV), proactive (DSDV) and geographic (GPSR) protocols were analyzed. The methodology includes simulation modeling using the OMNET++ and INET tools to create scenarios with different vehicle traffic conditions. The results show that AODV is effective in conditions of medium mobility, DSDV in stable networks with low mobility, and GPSR in conditions of high mobility and dynamic topology. In the evaluation process, particular attention was given to the protocols' ability to maintain performance under topology changes, as well as their efficiency in utilizing network and computational resources. The results of the work can be useful for the development of adaptive routing systems in intelligent transportation systems.*

Keywords: *intelligent transportation systems, network scalability, simulation, OMNET++ modeling, vehicular ad hoc networks.*

Introduction

In today's rapidly developing intelligent transport systems (ITS) and the growing demand for safe and efficient means of communication between vehicles, Vehicle-to-Vehicle (V2V) and Vehicle-to-Infrastructure (V2I) technologies are attracting special attention. These technologies form the basis of Vehicular Ad hoc Networks (VANETs), allowing vehicles to exchange information in real time without the need for a fixed infrastructure. However, the dynamic nature of VANET topologies, due to the high mobility of nodes and frequent changes in the network environment, creates significant challenges for ensuring reliable and efficient data routing. Existing routing protocols developed for traditional mobile ad hoc networks (MANETs) are not always adapted to the specifics of VANETs, which requires the development of new or improved existing solutions. Analysis of modern scientific and technical literature [1-8] indicates active research in the field of optimization of routing protocols for VANETs. In particular, approaches that take into account the characteristics of nodes, adaptive algorithms and machine learning methods to improve the efficiency of data transmission are considered. Given this, the need for new approaches to determine the best routing protocol in VANETs is obvious. Improving existing protocols or developing new solutions will ensure more reliable and efficient communication between vehicles, which, in turn, will contribute to improving road safety and the efficiency of transport systems in general.

In the process of studying routing protocols for VANET networks, a number of key design decisions were made aimed at increasing the efficiency and reliability of data transmission in dynamic network environments.

The following routing protocols were selected for the study: AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector), DSDV (Destination-Sequenced Distance Vector) and GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing) - which represent different approaches to routing in mobile networks. AODV is a reactive protocol that establishes routes on demand, DSDV is proactive, with constant route updates, and GPSR is a geographic protocol that uses node coordinates to make routing decisions.

To model and analyze the behavior of the selected protocols in various scenarios, the OMNeT++ simulation environment with the INET framework was used, which made it possible to accurately reproduce the conditions of real vehicle traffic and evaluate the effectiveness of the protocols in dynamic V2V networks. During the study, the main criteria for evaluating the effectiveness of the protocols under study were selected – the level of packet loss and round-trip time (RTT).

The results of the study can be used to develop effective communication protocols between vehicles, which will contribute to improving road safety and optimizing traffic flows. The study can also be useful, for example, in cases of emergency situations where traditional communication infrastructure may be unavailable. Effective routing protocols will ensure reliable information exchange between rescue units. This research may also have a positive impact on the development of a communication network between drones, to coordinate actions between them, which is necessary for reliable data exchange.

Classification and features of routing protocols

In wireless ad hoc networks, particularly in VANETs (Vehicular Ad Hoc Networks), efficient routing is a key factor for ensuring reliable data exchange between nodes. Depending on the strategy for building and updating routes, routing protocols are divided into proactive, reactive, and hybrid [1-4].

Proactive protocols (e.g. DSDV) maintain up-to-date routes to all possible destinations, regularly updating routing tables regardless of the need for data transmission. This approach provides minimal delays in establishing a connection, but can create a significant load on the network due to the constant exchange of service information.

Reactive protocols (e.g. AODV) initiate route search only when data transmission is needed, which reduces the amount of service traffic. However, this can lead to delays in establishing a connection, especially in conditions of high node mobility.

Hybrid protocols (e.g. Zone Routing Protocol) combine the advantages of proactive and reactive approaches, using proactive routing within the local area and reactive routing outside it. This allows you to adapt to different network conditions, providing a balance between delays and the volume of service traffic.

Mobile Ad hoc Network (MANET) is a dynamic wireless network that consists of mobile devices that can independently establish and maintain communication without the need for a fixed infrastructure. Each node in such a network act as both an end device and a router, and the network as a whole is described as a variable graph of connections, where each node transmits data to other network participants. Due to the ability to self-configure and self-heal, MANET provides flexible and fast network deployment in conditions where traditional network structures are unavailable or inefficient [5-7]. This makes MANET especially useful in situations that require rapid response, such as emergency events. However, due to the dynamic nature of the topology and the limited resources of the devices, MANETs have faced challenges related to routing efficiency, energy management, and ensuring data transmission security.

Meanwhile, Vehicular Ad hoc Networks (VANETs) are a specialized type of MANET where vehicles are the nodes. These networks allow vehicles to exchange information with each other, contributing to improved traffic safety, reduced congestion, optimized speed, priority access for emergency services, and detection of hidden obstacles. However, developing

applications for VANETs is challenging due to unique characteristics that distinguish them from traditional MANETs. In particular, high traffic speeds, frequent changes in network topology, and the need to ensure reliable communication under time constraints create additional challenges for developers. These features require the development of specialized routing protocols and control mechanisms that can adapt to dynamic traffic conditions and ensure stable data transmission between vehicles.

Software development and modification

During the study, an approach was implemented to determine the optimal routing protocol in V2V networks:

1. Identification of protocols relevant to V2V networks.

The first step is to determine routing protocols that can potentially be effective in V2V communications. This includes studying existing protocols, such as AODV, DSDV, GPSR and others, taking into account their ability to provide reliable data exchange between vehicles in a dynamic environment.

2. Comparative analysis of the principles of protocol operation.

The next stage is a detailed analysis of the mechanisms of operation of the selected protocols. This allows us to assess their advantages and disadvantages in the context of V2V networks, such as high node mobility, frequent topology changes and the need for rapid adaptation to changes in the network environment.

3. Formulation of a problem statement to describe a network with a dynamically changing topology.

For effective research, it is necessary to formulate a problem that would reflect the behaviour of the V2V network. This includes determining parameters such as traffic density, vehicle speed, and other factors that affect network dynamics.

4. Creating traffic scenarios with different levels of mobility.

At this stage, various traffic scenarios are developed that reflect different operating conditions of V2V networks. These can be scenarios with high, medium, and low vehicle mobility, which allows evaluating the effectiveness of the protocols in different conditions.

5. Simulating protocols using OMNeT++ and INET

The final step is to use the OMNeT++ simulation environment together with the INET framework to simulate the operation of the selected protocols in the created scenarios. This will allow obtaining quantitative indicators of the effectiveness of the protocols, such as packet transmission delay, packet loss rate, and other metrics that are critical for assessing their suitability for use in real conditions.

In order to assess the quality of the network connection, routing efficiency, and the impact of node mobility on data transmission, the following metrics were used during the study [9]:

Loss rate:

If no response is received within a certain time, the packet is considered lost. Percentage of lost packets:

$$\text{Loss Rate (\%)} = \left(\frac{N_{Sent} - N_{Received}}{N_{Sent}} \right) \cdot 100\%$$

$N_{Sent} = N_{Sent} - N_{Received}$ – number of lost packets,
 N_{Sent} – total number of packets sent.

RTT (Round-Trip Time):

The time in milliseconds that elapses from the moment an Echo Request is sent until an Echo Reply is received. That is, the time of sending (t_{Sent}) and the time of receiving ($t_{Received}$) the response is used to calculate the RTT:

$$RTT (ms) = t_{Received} - t_{Sent}$$

The work uses Omnet++ version 6.1.0. To install it, you need to go to the site and install according to the official instructions [10-11]. In this version of Omnet++, the Inet project is pre-installed. If necessary, you can add your own version, which you need to do, because the existing version does not contain the routing protocols necessary for the study. Therefore, let's proceed to installing Inet. To do this, you need to go to the link [12] and download the required version of the program, which is supported by the Omnet++ version. To conduct a study of routing protocols, scripts with different mobility scenarios were developed and the corresponding files were modified. The simulation parameters were also configured as follows (Tab. 1, Tab. 2, Tab. 3).

Table 1

General configuration parameters

Parameter	Value	Description
network	[AodvNetwork, DsdvNetwork, GPSRNetwork]	Specifies which network to use for simulation (defined in .ned)
num-rngs	3	Number of random number generators
sim-time-limit	600s	Maximum simulation duration
record-eventlog	true	Recording event logs (for later visualization)

Table 2

Node mobility parameters

Parameter	Value	Description
**mobility.typename	[Slow, Moderate, Fast] mobility	Mobility model type
*.host	[0..19]	20 nodes participated in the simulation. 2 static, all others are dynamic
**mobility.constraintArea*	0–600m X/Y	Movement area boundaries (rectangular field 600×600m)
**mobility.initialX/Y	uniform(0m, 600m)	Initial random placement of nodes
**mobility.speed	uniform(5mps, 8mps) and similar	Movement speed
**mobility.angleDelta	normal(0deg, Ndeg)	Random change of direction
**mobility.changeInterval	normal(3s, 0.1s) – 5s, 0.1s	How often the direction/speed changes (important for dynamics)

Table 3

Research scenarios

Configuration	Mobility type	Speed of nodes	Motion change interval
Static	Усі вузли нерухомі	0 м/с	–
SlowMobility	Two nodes are static, the others are 5-8 м/с	normal(5s, 0.1s)	Slow speed
ModerateMobility	Two nodes are static, the others are 8-15 м/с	normal(4s, 0.1s)	Medium speed
FastMobility	Two nodes are static, the others are 15-25 м/с	normal(3s, 0.1s)	High speed

In order to collect statistics, the active logging parameter record-eventlog = true was set for all omnetpp.ini files. Data collection was done from the Omnet++ console, which displayed simulation data for each node every 60 seconds and looked like this:

```
===== PING STATISTICS at 60 =====
AODVNetwork.host[0].app[0]: sent=57, received=50, loss rate=12.2807%
RTT min/avg/max = 0.952613/17.1813/193.948 ms
stddev = 39.9043 ms, variance = 0.00159235
...
===== PING STATISTICS at 600 =====
AODVNetwork.host[2].app[0]: sent=597, received=473, loss rate=20.7705%
RTT min/avg/max = 0.952349/182.908/8256.22 ms
stddev = 777.474 ms, variance = 0.604466
-----
```

After that, all collected data was presented in tabular format (Tab. 4).

Table 4

Structure of the results file: resultsOfInvestigation.xlsx

#	Network	host	Time(s)	Sent	Received	Loss Rate	RTT(ms)
1	AODV_SlowMobility	host[0]	60	57	50	12.28%	17.1813
2	AODV_SlowMobility	host[1]	60	57	57	0%	N/A
3	AODV_SlowMobility	host[2]	60	57	49	14.04%	156.502
...							
1798	GPSR_FastMobility	host[17]	600	598	193	67.73%	6.82469
1799	GPSR_FastMobility	host[18]	600	598	210	64.88%	2.739
1800	GPSR_FastMobility	host[19]	600	598	287	52.01%	2.52287

Analysis of experimental results

The following graphs show the average number of packet losses (Fig. 1) and RTT delays (Fig. 2) for all three routing protocols under study: AODV, DSDV, and GPSR. As can be seen, the best result in terms of packet losses is demonstrated by the DSDV routing protocol. As for the RTT delay, the best result according to the research results is GPSR. But continuing to analyze the DSDV protocol, we can conclude that it differs little in terms of RTT delay from GPSR. The general results of the experimental studies are given in Table 5.

Результати експериментальних досліджень

Mobility type	Protocol	Latency [ms]	Packet loss [%]
Повільний рух 18-28.8 км/год	AODV	145.71	34.61
	DSDV	8.69	18.8
	GPSR	5.31	45.38
Помірний рух 30-54 км/год	AODV	130.65	46.66
	DSDV	12.37	23.9
	GPSR	5.18	48.96
Швидкий рух 54-90 км/год	AODV	189.62	52.5
	DSDV	11.19	36.06
	GPSR	4.54	55.96

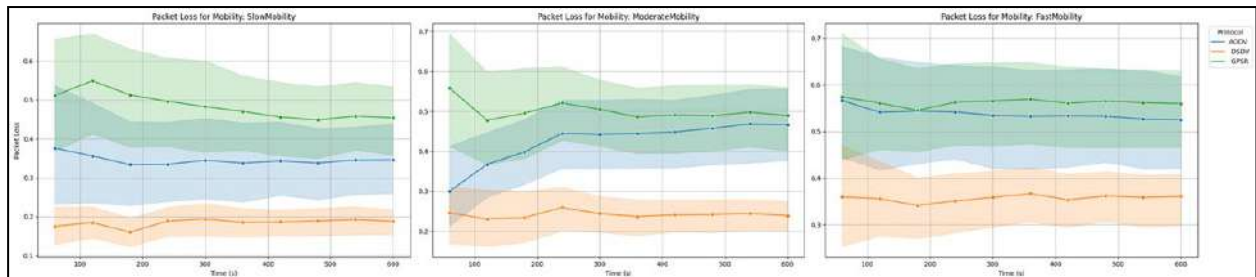


Figure 1. Average packet loss for AODV, DSDV, and GPSR for all mobility bands

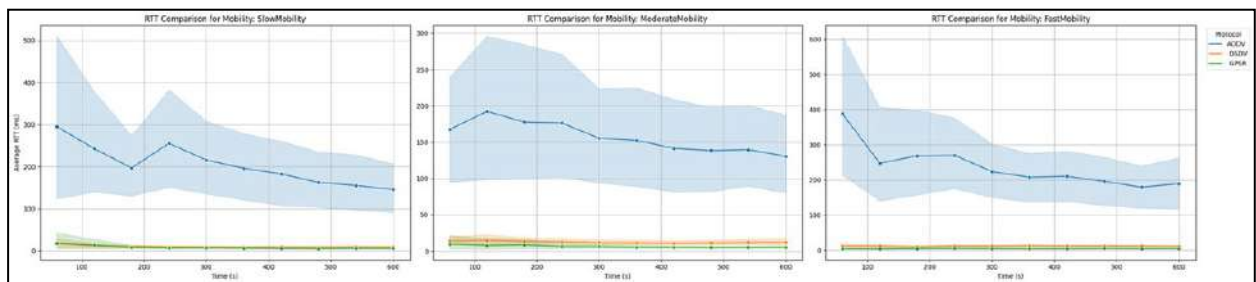


Figure 2. RTT delay for AODV, DSDV, and GPSR for all mobility bands

Conclusions

1. Analysis of specifications and recommendations for V2V communications in modern transport systems made it possible to identify the main factors affecting the performance of wireless communication between cars. Analysis of data transmission efficiency requirements made it possible to identify key indicators for evaluating routing protocols: minimizing delay and reducing packet loss maximization. In addition, resistance to changes in network topology is taken into account, which is critically important in dynamic traffic conditions. Based on these indicators, a criterion for selecting the optimal protocol that provides the best quality of data transmission in V2V networks was formulated.
2. Analysis of approaches to selecting the optimal routing protocol in V2V networks (taking into account delay and packet loss) showed that existing methods do not take into account mobility levels, but focus on network congestion. At the same time, mobility is critically important in the context of ensuring stable communication between vehicles, especially in conditions of high mobility and variable network topology. In addition, existing approaches do not take into account the specific features of different traffic scenarios, which may lead to suboptimal protocol selection and reduced data transmission quality.

3. Studies conducted using Omnet++ software has determined that:
 - during slow vehicle movement: 45.68% less than in AODV, and 58.57% less than in GPSR.
 - during moderate vehicle movement: 48.78% less than in AODV, and 51.18% less than in GPSR.
 - during fast vehicle movement: 31.31% less than in AODV, and 35.56% less than in GPSR,

which demonstrates the advantage in network performance and stability when using the DSDV protocol.

References

1. Helmi R.I., Mizan S.M.A.H. Routing Protocols for Vehicle-to-Vehicle (V2V) Networks. URL: https://www.researchgate.net/publication/372250244_Routing_Protocols_for_Vehicle-to-Vehicle_V2V_Networks
2. MANET Routing Protocols. GeeksforGeeks. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/manet-routing-protocols/>
3. Routing Protocols for Vehicle to Vehicle (V2V) Networks. *World Journal of Advanced Research and Reviews*. URL: <https://wjarr.com/content/routing-protocols-vehicle-vehicle-v2v-networks>
4. An overview of routing protocols for vehicular ad hoc networks. IET Networks. URL: <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1049/ntw2.12136>
5. Mobile Ad Hoc Network (MANET). ScienceDirect. URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/mobile-adhoc-network-manet>
6. Mobile Adhoc Network. TPointTech. URL: <https://www.tpointtech.com/mobile-adhoc-network>
7. Introduction of Mobile Ad hoc Network (MANET). GeeksforGeeks. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/introduction-of-mobile-ad-hoc-network-manet/>
8. Smart AODV Routing Protocol Strategies Based on Learning Automata to Improve V2V Communication Quality of Services in VANET. ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/382592635_Smart_AODV_Routing_Protocol_Strategies_Based_on_Learning_Automata_to_Improve_V2V_Communication_Quality_of_Services_in_VANET
9. How to Calculate Network Percentage of Packet Drop in OMNeT++. OMNeT++ Manual. URL: <https://omnet-manual.com/how-to-calculate-network-percentage-of-packet-drop-in-omnet/>
10. OMNeT++ Installation Guide. URL: <https://doc.omnetpp.org/omnetpp/InstallGuide.pdf>
11. Simulasi MANET DSDV Omnet++ v5.6. YouTube. URL: https://www.youtube.com/watch?v=WnEJ7l2m_vQ&ab_channel=ShckTchamna%28Ca%E1%B7%85mn%C3%A0%27%29
12. INET Framework Releases. GitHub. URL: <https://github.com/inet-framework/inet/releases>

LEADERSHIPUL ȘI CULTURA ORGANIZAȚIONALĂ ÎN COMPANIILE DE TELECOMUNICAȚII: ABORDĂRI COMPARATE LA NIVEL GLOBAL

Otilia GUȘAN, Ilinca OSIPOV

TSE, IMTC-211, FET, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Moldova

Îndrumător/Coordonator Științific **Lilia SAVA**, conf. univ., FET

Îndrumător/Coordonator Științific **Ecaterina CRISTEA**, asist. univ., FET

Rezumat. Această cercetare comparativă examinează influența pe care stilurile de leadership și cultura organizațională o exercită asupra performanței companiilor de telecomunicații la nivel global. Studiul adoptă o perspectivă multidisciplinară, analizând modul în care diferite abordări manageriale sunt influențate de contextul cultural, economic și social al fiecărei regiuni. Prin evidențierea principalelor modele de leadership utilizate în industria telecomunicațiilor, cercetarea subliniază diversitatea strategiilor adoptate de organizații pentru a se adapta pieței și pentru a-și menține competitivitatea. Stilurile de conducere variază considerabil în funcție de factori precum valorile locale, gradul de ierarhizare, orientarea spre inovație și nivelul de autonomie oferit angajaților. De asemenea, studiul analizează impactul culturii organizaționale asupra performanței și inovării, demonstrând că structura și valorile interne ale unei companii joacă un rol esențial în capacitatea acesteia de a se adapta schimbărilor tehnologice și cerințelor pieței. Companiile care promovează un leadership adaptabil și o cultură organizațională deschisă la schimbare sunt mai susceptibile să obțină avantaje competitive și să inoveze în mod constant. Astfel, cercetarea oferă o perspectivă detaliată asupra interacțiunii dintre leadership, cultură organizațională și succesul companiilor de telecomunicații în diferite medii culturale și economice.

Cuvinte cheie: leadership, cultură organizațională, companii de telecomunicații, performanță organizațională, management comparativ.

Introducere

Sectorul telecomunicațiilor reprezintă un pilon fundamental al economiei globale, contribuind semnificativ la digitalizare și conectivitate. Într-un mediu caracterizat de o concurență intensă și o evoluție tehnologică accelerată, leadershipul și cultura organizațională devin elemente decisive pentru succesul și sustenabilitatea companiilor. [1]

Această cercetare analizează variațiile existente între diferitele stiluri de leadership și modelele culturale ale organizațiilor din industria telecomunicațiilor, concentrându-se pe regiuni precum Statele Unite, Europa, Asia și America Latină.

În funcție de contextul cultural și economic, abordările manageriale diferă semnificativ. De exemplu, în SUA predomină un leadership orientat spre inovație și rezultate, în timp ce în Asia se pune accent pe ierarhie și colaborare. În Europa, se promovează un echilibru între eficiență și bunăstarea angajaților, iar în America Latină relațiile interpersonale joacă un rol esențial. Prin această analiză, studiul oferă o înțelegere detaliată a impactului leadershipului asupra performanței și adaptabilității companiilor din telecomunicații.

Studiul utilizează o metodologie comparativă, bazată pe analiza literaturii de specialitate și studii de caz ale companiilor de frunte din domeniu, cum ar fi AT&T, Orange Moldova, Huawei și Telefónica.

În mediul organizațional modern, cultura unei companii joacă un rol esențial în definirea stilului de leadership, a modului de colaborare între angajați și a strategiilor de creștere.

Clasificarea culturii organizaționale oferă un cadru de referință pentru înțelegerea modului în care companiile își structurează activitatea și își motivează angajații. Cele patru tipuri principale de cultură organizațională – cultura de clan, cultura ierarhică, cultura ad-hoc și cultura de piață – influențează direct performanța și dinamica unei organizații. Studiarea acestora permite companiilor să adopte modele de leadership și structuri care să le maximizeze eficiența și competitivitatea într-un mediu de afaceri aflat în continua.

Tabelul 1

Tipuri de cultură organizațională

Tip de cultură organizațională	Descriere
Clan Culture (Cultura de clan)	O cultură de tip familial, unde opiniile și ideile tuturor sunt apreciate.
Hierarchy Culture (Cultura ierarhică)	Un mediu de lucru formalizat și structurat, unde liderii sunt mândri de coordonarea și organizarea eficientă.
Adhocracy Culture (Cultura ad-hoc)	O cultură orientată spre asumarea riscurilor, unde liderii sunt inovativi și creativi în abordare.
Market Culture (Cultura de piață)	O cultură orientată spre rezultate, competitivă și axată pe piață.

Culturile organizaționale oferă avantaje și provocări distincte: cultura de clan susține colaborarea, cea ierarhică eficiența, cultura ad-hoc stimulează inovația, iar cea de piață promovează competitivitatea. Alegerea și adaptarea culturii potrivite sunt cruciale pentru succesul pe termen lung al unei organizații.

În industria telecomunicațiilor, stilurile de leadership pot varia semnificativ în funcție de cultura organizațională, regiunea geografică și nevoile specifice ale fiecărei companii. Iată câteva dintre cele mai comune tipuri de stiluri de leadership întâlnite în acest sector:

Tabelul 2

Analiza stilurilor de Leadership

Tipul de Leadership	Caracteristici	Eficiență în medii specifice	Exemple regionale
Leadership Transformational	Inspiră și inovează, stimulează creativitatea și angajamentul angajaților	Eficient în medii dinamice și inovatoare	Frecvent în companiile din Statele Unite
Leadership Autoritar	Decizii centralizate, reguli stricte, așteaptă conformitate	Util în medii care necesită stabilitate și eficiență	Predominant în companiile din Asia
Leadership Democratic	Decizii participative, colaborare, transparență	Potrivit în industrii care echilibrează performanța economică și bunăstarea angajaților	Prezent în companiile europene din telecomunicații
Leadership Servitor	Centrat pe nevoile echipei, sprijină dezvoltarea angajaților	Eficient în organizațiile cu o cultură colaborativă și diversă	Întâlnit în companii cu orientare spre dezvoltare personală
Leadership Laissez-Faire	Oferă autonomie mare echipelor, intervenție minimă a liderului	Potrivit pentru companii inovatoare cu angajați independenți	Comun în companiile de telecomunicații inovatoare
Leadership Charismatic	Lider influent, creează o viziune convingătoare, mobilizează echipele	Eficient în organizații unde cultura organizațională este esențială	Asociat cu liderii care au impact semnificativ asupra echipei

Fiecare stil de leadership are avantaje și dezavantaje, iar succesul său depinde de contextual specific al fiecărei organizații și al regiunii în care operează. Adaptabilitatea și

capacitatea de a răspunde la schimbările rapide ale pieței telecomunicațiilor sunt esențiale pentru orice lider din acest sector.

Impactul Leadershipului asupra Performanței

Impactul leadershipului asupra performanței este semnificativ, influențând atât eficiența echipelor, cât și satisfacția angajaților. Un lider eficient poate motiva angajații să își atingă potențialul maxim, să își îmbunătățească abilitățile și să contribuie la succesul organizației. Leadershipul transformațional, de exemplu, stimulează creativitatea și inovarea, inspirând angajații să își asume riscuri și să colaboreze pentru soluții inovative. Acesta duce la o performanță ridicată, datorită angajamentului și loialității echipelor. Pe de altă parte, un leadership autoritar poate duce la o eficiență imediată și la îndeplinirea rapidă a obiectivelor, însă poate reduce moralul și implicarea angajaților pe termen lung. Liderii care promovează transparența, încrederea și sprijinul pentru dezvoltarea personală sunt adesea cei care obțin performanțe durabile, creând un mediu de lucru în care angajații sunt motivați să depășească așteptările și să contribuie activ la succesul organizației.

În sectorul telecomunicațiilor, stilul de leadership adoptat de o companie influențează semnificativ cultura organizațională, eficiența operațională și capacitatea de inovare. Diferitele modele de leadership determină modul în care sunt luate deciziile, relațiile dintre angajați și strategiile de dezvoltare.

Tabelul de mai jos prezintă exemple de companii de telecomunicații care aplică diverse stiluri de leadership, evidențiind caracteristicile fiecărui model și impactul acestuia asupra organizației. Aceste exemple ilustrează modul în care leadershipul poate modela succesul unei companii într-un mediu tehnologic aflat în continuă schimbare.

Tabelul 3

Exemple de Companii și Stiluri de Leadership în Telecomunicații

Companie	Țară/Regiune	Stil de Leadership	Caracteristici
AT&T	SUA	Transformational	Inovare, adaptabilitate, dezvoltare continuă a angajaților, sprijinirea creativității și asumării riscurilor.
Huawei	China	Autoritar	Ierarhie strictă, control centralizat, eficiență operațională, disciplină organizațională, conformitate ridicată.
Orange Moldova	Europa	Democratic	Participare activă a angajaților, transparență, colaborare, echilibru între performanță economică și bunăstare.
Telefónica	Spania	Servitor	Sprijin pentru echipe, cultură bazată pe încredere și colaborare, accent pe dezvoltarea personală și profesională.
Skype (indep.)	Global	Laissez-Faire	Autonomie ridicată, inovație, libertatea angajaților de a lua decizii, stil flexibil adaptat tehnologiilor emergente.

Fiecare dintre aceste companii demonstrează cum stilurile de leadership pot influența în mod direct cultura organizațională, performanța echipelor și succesul pe termen lung al companiei. Stilurile pot varia în funcție de regiunile în care companiile operează și de specificul pieței pe care activează.

Cercetările demonstrează că un leadership flexibil, capabil să se adapteze contextului cultural și economic, contribuie semnificativ la creșterea eficienței operaționale, satisfacția angajaților și capacitatea de inovare a companiilor de telecomunicații.

Dimensiunile Culturale (Hofstede)

Cultura organizațională în companiile de telecomunicații influențează direct performanța și inovația, facilitând adaptabilitatea într-un mediu tehnologic dinamic. Accentul este pus pe inovație, colaborare și ritm rapid de lucru, alături de transparență, comunicare deschisă și spirit de echipă. Diversitatea și incluziunea joacă un rol tot mai important, stimulând gândirea

inovativă. O cultură organizațională bine definită ajută la atragerea și retenția talentelor, contribuind la succesul pe termen lung. [2]

Dimensiunile culturale ale lui Geert Hofstede sunt un set de concepte utilizate pentru a analiza și compara diferențele culturale între țări și organizații. Hofstede a identificat șase dimensiuni principale care reflectă comportamentele și valorile predominante în diverse culturi:

În contextul globalizării, diferențele culturale influențează structura, luarea deciziilor și managementul resurselor umane în organizații. Modelul lui Hofstede, bazat pe șase dimensiuni culturale, oferă un instrument util pentru analizarea acestor diferențe. Studiul analizează aplicarea acestor dimensiuni în companii internaționale de telecomunicații: AT&T (SUA), Orange Moldova, Huawei (China) și Telefónica (Spania).

Analiza acestor dimensiuni culturale ne permite să identificăm particularitățile fiecărei organizații și să înțelegem modul în care cultura națională influențează structura și strategia corporativă. În timp ce unele companii, precum AT&T, favorizează un model mai flexibil și bazat pe performanța individuală, altele, precum Huawei, adoptă structuri ierarhice stricte și o cultură colectivistă. Această diversitate de abordări evidențiază importanța adaptării strategiilor manageriale la specificul cultural al fiecărei organizații.

Tabel 4

Dimensiunile culturale în companii de Telecomunicații

Dimensiune Culturală	Descriere	Exemple de Companii	Caracteristici Specifice
Distanța față de putere	Măsoară acceptarea inegalității de putere. Culturi cu distanță mare au ierarhii stricte, iar cele cu distanță mică sunt mai egalitare.	AT&T (SUA) – structură flexibilă, comunicare deschisă.	Sesiuni de feedback direct între angajați și conducere.
		Orange Moldova – echilibru între ierarhie și flexibilitate.	Programe de inovare deschisă pentru angajați.
		Huawei (China) – ierarhie strictă, control centralizat.	Sistem rigid de raportare și verificare internă.
		Telefónica (Spania) – echilibru între ierarhie și autonomie.	Programe interne pentru sugestii de îmbunătățire.
Individualism vs. Colectivism	Culturi individualiste pun accent pe realizările personale, iar cele colectiviste valorizează munca în echipă și solidaritatea.	AT&T – model individualist, bazat pe performanță personală.	Programe de leadership pentru angajați de top.
		Orange Moldova – echilibru între inițiativa individuală și colaborare.	Proiecte interdepartamentale pentru lansarea noilor servicii.
		Huawei – model colectivist, axat pe muncă în echipă și loialitate.	Cultura de „suferință împărtășită” și muncă intensă.
		Telefónica – îmbină realizările individuale cu spiritul de echipă.	Programe de mentorat pentru dezvoltare profesională.
Masculinitate vs. Femininitate	Valorile masculine pun accent pe competiție și succes, iar cele feminine pe bunăstare și echilibrul viață-muncă.	AT&T – orientare spre performanță și succes.	Bonusuri de performanță și competiție internă.
		Orange Moldova – echilibru între succes și bunăstarea angajaților.	Politici de echilibru muncă-viață personală.
		Huawei – orientare puternică spre rezultate.	Cerințe stricte privind productivitatea.

		Telefónica – valorizează echilibrul viață-muncă.	Inițiative pentru flexibilitatea programului de muncă.
Evitarea incertitudinii	Preferința pentru reguli clare și structuri rigide vs. flexibilitate și acceptarea schimbării.	AT&T – deschisă la schimbare și inovare.	Investiții în noi tehnologii și startup-uri.
		Orange Moldova – adaptabilitate la piața locală.	Politici flexibile în funcție de tendințele pieței.
		Huawei – preferă reguli stricte și control ridicat.	Proceduri detaliate și monitorizare constantă.
		Telefónica – echilibru între stabilitate și flexibilitate.	Programe de testare a noilor idei înainte de implementare.
Orientarea pe termen lung vs. pe termen scurt	Culturile orientate pe termen lung pun accent pe planificare și sustenabilitate, iar cele pe termen scurt pe rezultate rapide.	AT&T – viziune pe termen lung, investiții strategice.	Dezvoltare de infrastructură și cercetare pe termen lung.
		Orange Moldova – echilibru între tradiție și inovație.	Adaptare rapidă la cerințele pieței locale.
		Huawei – planificare pe termen lung, expansiune globală.	Investiții masive în cercetare și dezvoltare.
		Telefónica – combinație între tradiție și inovație.	Programe pentru sustenabilitate și inovație digitală.
Indulgență vs. Restricție	Reflectă gradul în care o cultură permite satisfacerea dorințelor și libertatea personală vs. autocontrolul strict.	AT&T – nivel ridicat de indulgență, accent pe inovație.	Spații de lucru creative și politici flexibile.
		Orange Moldova – promovează echilibrul între muncă și viața personală.	Beneficii pentru bunăstarea angajaților.
		Huawei – control strict și restricții organizaționale.	Cod de conduită riguros și program de muncă intensiv.
		Telefónica – cultură orientată spre bunăstare și echilibru.	Inițiative pentru sănătatea și bunăstarea angajaților.

Analiza comparativă a companiilor de telecomunicații evidențiază că valorile culturale influențează semnificativ succesul organizațional, alături de factorii economici și tehnologici. AT&T reflectă o cultură individualistă, axată pe inovație și leadership personal, în timp ce Huawei se caracterizează prin colectivism și ierarhie strictă, specifice culturii chineze. Orange Moldova și Telefónica îmbină autonomia cu respectarea structurii, iar companiile occidentale pun tot mai mult accent pe bunăstarea angajaților, spre deosebire de cele asiatice, care preferă un control mai rigid al mediului de lucru.

În concluzie, înțelegerea acestor diferențe culturale este esențială pentru companiile care operează la nivel internațional, facilitând adaptarea strategiilor de management și resurse umane. Pentru a avea succes pe piețe diverse, organizațiile trebuie să își ajusteze politicile interne astfel încât să reflecte valorile și așteptările angajaților din fiecare regiune.

Impactul Culturii Organizaționale asupra Performanței

Cultura organizațională joacă un rol esențial în determinarea performanței organizaționale, influențând atât eficiența operațională, cât și satisfacția angajaților. Studiile arată

că un leadership eficient poate avea un impact pozitiv semnificativ asupra rezultatelor financiare și non-financiare ale unei organizații.

De exemplu, un studiu realizat de Roi (2006) pe 94 de companii a evidențiat o relație pozitivă între practicile de leadership transformațional și creșterea veniturilor pe termen lung, măsurată prin profitabilitate, creșterea vânzărilor și indicatori bursieri. [7]

În plus, cercetările indică faptul că stilul de leadership practicat în organizații publice poate avea un impact semnificativ asupra culturii organizaționale. Un leadership eficient și inspirator poate promova o cultură de performanță, transparență și colaborare, în timp ce un leadership slab sau autoritar poate genera o cultură de teamă și rezistență la schimbare. [8]

Pentru a înțelege mai bine impactul culturii organizaționale asupra performanței, putem compara Orange Moldova cu alte trei companii de telecomunicații din țări diferite: AT&T (SUA), Huawei (China) și Telefónica (Spania).

Tabelul 5

Compararea Culturilor Organizaționale în Diferite Țări

Aspect	Orange Moldova (Moldova)	AT&T (SUA)	Huawei (China)	Telefónica (Spania)
Inovație și Tehnologie	Investiții în 4G+, 5G și digitalizare.	Dezvoltă infrastructuri 5G și soluții IoT.	Accent puternic pe tehnologie 5G și AI.	Se concentrează pe transformare digitală și IoT.
Autonomie și Flexibilitate	Politici de work-from-home și decizii descentralizate.	Cultura individualistă, focus pe meritocrație și autonomie.	Structură rigidă, cu decizii luate la vârf.	Echilibru între autonomie și colaborare.
Colaborare și Orientare către Client	Cultura bazată pe customer experience și feedback constant.	Focalizare pe eficiență și servicii personalizate.	Orientată spre disciplină și strategie colectivă.	Promovează un mediu flexibil, colaborativ și inovator.

Analiză și concluzii

Orange Moldova adoptă un model dinamic și flexibil, bazat pe inovație și colaborare, având o abordare orientată spre client și adaptare rapidă.

AT&T favorizează individualismul și performanța personală, oferind autonomie angajaților, dar cu un focus pe rezultate financiare și eficiență.

Huawei operează într-un sistem ierarhic rigid, unde deciziile sunt centralizate, iar angajații lucrează într-o cultură colectivistă și disciplinată.

Telefónica menține un echilibru între autonomie și colaborare, având o cultură organizațională flexibilă și axată pe inovație, similară cu Orange Moldova.

Această comparație arată că, deși toate companiile de telecomunicații investesc în tehnologie, cultura organizațională influențează puternic modul în care acestea își desfășoară activitatea, gestionează angajații și interacționează cu clienții.

Concluzii

Într-un sector telecomunicațional marcat de dinamism și inovație, succesul organizațional este influențat semnificativ de cultura organizațională și de stilurile de leadership adoptate. Leadershipul transformațional, predominant în economiile occidentale, favorizează un mediu

bazat pe inovație, colaborare și dezvoltare personală, contribuind astfel la o creștere sustenabilă a performanței. În schimb, leadershipul autoritar, frecvent întâlnit în regiunile asiatice, prioritizează stabilitatea și controlul ierarhic, oferind avantaje pe termen scurt, dar limitând inițiativa și creativitatea angajaților.

Analiza prin prisma dimensiunilor culturale ale lui Hofstede evidențiază faptul că succesul organizațiilor din telecomunicații depinde de capacitatea acestora de a integra transparența, diversitatea și colaborarea în strategiile lor de management. Companiile care adoptă o cultură organizațională clar definită, dar flexibilă, sunt mai bine poziționate pentru a răspunde provocărilor unei piețe globalizate și competitive.

Pentru a maximiza eficiența organizațională, liderii din industria telecomunicațiilor trebuie să adopte strategii care să permită adaptarea la contexte culturale diverse. Acestea includ: promovarea unui leadership transformațional pentru stimularea inovației și performanței, facilitarea transparenței și a comunicării deschise pentru consolidarea încrederii și colaborării, valorificarea diversității pentru îmbunătățirea proceselor decizionale și implementarea unui management flexibil adaptat specificului cultural al fiecărei regiuni.

Prin aplicarea acestor principii, companiile de telecomunicații pot dezvolta o cultură organizațională adaptabilă, capabilă să susțină atât performanța operațională, cât și competitivitatea pe termen lung într-un mediu aflat într-o continuă evoluție.

Bibliografie

1. *Implementing the Digital Transformation: Digital Leadership Principles and Tools*. Disponibil online: <https://link.springer.com> (accesat la data de 20.02.2025).
2. Hofstede, G. *Culture's Consequences: Comparing Values, Behaviors, Institutions, and Organizations Across Nations*. Sage Publications. Disponibil online: <https://books.google.com> (accesat la data de 20.02.2025).
3. Northouse, P. G. *Leadership: Theory and Practice*. Sage Publications. Disponibil online: <https://us.sagepub.com/en-us/nam/leadership/book257617> (accesat la data de 20 februarie 2025).
4. Bass, B. M. *Leadership and Performance Beyond Expectations*. Free Press. Disponibil online: <https://books.google.com> (accesat la data de 20.02.2025).
5. Schein, E. H. *Organizational Culture and Leadership*. Jossey-Bass. Disponibil online: <https://www.wiley.com/en-us/Organizational+Culture+and+Leadership%2C+5th+Edition-p-9781119212041> (accesat la data de 21.02.2025).
6. *Analiza culturii organizaționale din Republica Moldova din perspectiva dimensiunilor lui Hofstede*. Disponibil online: <https://example-url.md> (accesat la data de 25.02.2025).
7. *The Impact of Leadership on Organizational Performance (PDF)*. Disponibil online: https://www.researchgate.net/publication/impact_leadership_performance (accesat la data de 25 februarie 2025).
8. *178-183_18.pdf*. Disponibil online: https://conference.proceedings/178-183_18.pdf (accesat la data de 25.02.2025).

IMPLEMENTAREA MATERIALULUI PLASTIC ARMAT CU FIBRĂ DE STICLĂ (GFRP) ÎN INFRASTRUCTURA DIN DOMENIUL TELECOMUNICAȚIILOR

Nelea MANIN

TSE, IMTC-231, FET, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Moldova

Îndrumătorul/coordonatorul științific **Lilia SAVA**, conf. univ., dr., FET

Rezumat. Odată cu dezvoltarea accelerată a tehnologiilor din domeniul telecomunicațiilor, precum rețelele 5G și Internetul Lucrurilor (IoT), un lucru necesar și important este modernizarea infrastructurii, fiind impus de cerințele tehnice tot mai riguroase. Lucrarea analizează aplicabilitatea plasticului armat cu fibră de sticlă (GFRP – Glass Fiber Reinforced Plastic) ca o alternativă inovatoare și sustenabilă la structurile tradiționale din oțel în infrastructura civilă de telecomunicații. În lucrare sunt evaluate beneficiile tehnice și economice ale utilizării GFRP – greutate redusă (cu până la 50%), rezistență superioară, izolație electrică, rezistență la coroziune și eliminarea necesității de întreținere periodică. Este analizat un studiu de caz, cu o evaluare tehnico-economică a acestui material. Explorarea unei soluții care este în curs de dezvoltare în Europa, aflată la etapa de testare în mai multe țări este elementul de noutate al lucrării. Acesta are un potențial ridicat de a transforma infrastructura telecom într-una mai eficientă, flexibilă și ecologică. Lucrarea propune GFRP ca soluție viabilă pentru viitorul infrastructurii telecomunicațiilor, capabilă să răspundă atât nevoilor tehnologice, cât și celor de sustenabilitate și reducere a costurilor.

Cuvinte cheie: materiale compozite, infrastructură telecom, GFRP, sustenabilitate, modernizare 5G, eficiență logistică

Introducere

Implementarea materialului plastic armat cu fibră de sticlă (GFRP – Glass Fiber Reinforced Plastic) în infrastructura din domeniul telecomunicațiilor reprezintă o soluție inovatoare, menită să răspundă provocărilor tot mai complexe generate de noile tehnologii, precum rețelele 5G și Internetul Lucrurilor (IoT). Pe măsură ce cerințele privind performanța, durabilitatea și eficiența rețelelor de comunicații cresc, devine necesară adoptarea unor materiale moderne, care să ofere avantaje față de soluțiile tradiționale, precum oțelul sau betonul.

GFRP este un compozit ușor, durabil și rezistent la coroziune, care începe să câștige tot mai mult teren în proiectele de infrastructură datorită proprietăților sale tehnice și costurilor reduse de instalare și întreținere. În contextul actual, unde digitalizarea accelerată impune rețele mai rapide, mai stabile și mai ușor de adaptat la nevoile viitorului, utilizarea materialelor compozite precum GFRP devine o alegere strategică.

Această lucrare își propune să analizeze potențialul materialului GFRP în infrastructura telecomunicațiilor, evidențiind beneficiile tehnice și economice, provocările legate de implementare, precum și principalele aplicații practice în acest domeniu.

Plastic armat cu fibră de sticlă (GFRP)

Pentru a fabrica plasticul armat cu fibră de sticlă care este un material compozit (material format din cel puțin două elemente de natură diferită combinate astfel ca să formeze un nou material cu o combinație superioară de proprietăți [1]) este necesar de două componente principale: fibră de sticlă de înaltă rezistență ca material de armare și o matrice polimerică [2].

Matricea polimerică reprezintă rășină termoset, cum ar fi poliesterul, vinilesterul sau epoxidicul. Raportul maselor dintre fibră de sticlă și matricea polimerică este 80% și 20% [3].

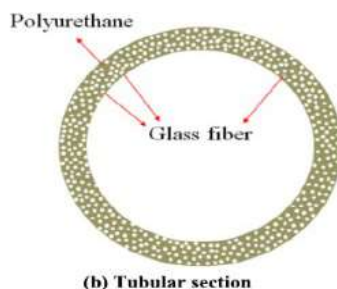


Figura 1. Structura materialului plastic armat cu fibră de sticlă [2]

Pe măsură ce rețelele de telecomunicații se extind, cresc cerințele pentru materiale rezistente la condiții extreme. Caracteristicile principale ale acestui material sunt:

- Rezistență mecanică ridicată;
- Greutate redusă—de la 35% până la 50% mai puțină greutate;
- Rezistență la coroziune și agenți chimici;
- Durabilitate sporită;
- Costuri reduse de întreținere.

Toți acești parametri au fost analizați prin compararea GFRP cu oțelul care este mai greu, necesită utilaje adăugătoare pentru a instala diferite structuri, sunt costuri ridicate pentru întreținere din cauza necesității vopsirii periodice a instalațiilor. GFRP-ul rezistă la variații mari de temperatură, umiditate și expunere la UV.

Avantajele și dezavantajele GFRP

Plasticul armat cu fibră de sticlă oferă o gamă largă de avantaje ce îl fac să fie valoros în diverse aplicații. Datorită greutății reduse a acestui material este posibilă construcția instalațiilor mult mai ușoare, cum ar fi stâlpii și turnuri utilizate în telecomunicații. Mai mult, ușurința în prelucrarea și montaj a GFRP-ului optimizează procesele de implementare. Aceasta deschide posibilitatea utilizării în locuri unde restricțiile de greutate sunt critice (acoperișuri). Materialul dat este un izolator electric ce poate preveni interferențele electromagnetice, astfel asigurând integritatea semnalului, ceea ce îl face ideal pentru telecomunicații. Utilizarea GFRP poate prelungi semnificativ durata de viață a infrastructurii telecom datorită rezistenței la coroziune și la substanțe chimice. Durabilitatea sa extinsă reduce frecvența înlocuirilor echipamentelor, astfel asigurând o perioadă de funcționare îndelungată cu cerințe minime de întreținere. Aceste avantaje oferă economii semnificative de timp și resurse.

Unul dintre cele mai importante dezavantaje este costul inițial de producție. Acesta poate fi mai ridicat în comparație cu oțelul. Sunt necesare investiții pentru a porni procesul de fabricație, fiind unul specializat. În epoca modernă, unde tema ecologiei se pune în prim plan, GFRP reprezintă o dificultate în reciclare, deoarece separarea fibrelor de sticlă de matricea polimerică este un proces complex. Performanța este asigurată de aderențe bune între fibre și matrice. Dacă această legătură fizică este slabă pot apărea fisuri. Dezavantajele trebuie analizate și evaluate minuțios în raport cu beneficiile pentru fiecare aplicație în parte.

Aplicațiile în telecomunicații

Un studiu de caz relevant pentru implementarea plasticului armat cu fibră de sticlă în domeniul telecomunicațiilor este utilizarea pilonilor și turnurilor de antenă din GFRP. De exemplu, înlocuirea stâlpilor metalici pentru antenele de telefonie mobilă. În tabelul 1 sunt prezentate câteva tipuri de structuri și caracteristicile acestora.



a) Antena Pole b) Roof Pole c) Rooftop Tower d) Greenfield Tower.

Figura 2. Structuri din GFRP

Plasticul armat cu fibră de sticlă (GFRP) a devenit o alternativă modernă și eficientă la materialele tradiționale, precum oțelul, în construcția infrastructurii pentru telecomunicații. Ușor, rezistent la coroziune și durabil în condiții climatice extreme, GFRP este ideal pentru susținerea echipamentelor de transmisie a semnalului. Iată patru tipuri principale de structuri în care acest material este aplicat:

Antena Pole – stâlpul de antenă simplu este folosit adesea în zonele unde nu este nevoie de o acoperire mare, dar conectivitatea trebuie menținută. Fiind realizat din GFRP, acest stâlp este foarte ușor, ceea ce îl face ușor de transportat și montat, chiar și fără echipamente grele. De asemenea, nu ruginește, ceea ce înseamnă costuri mai mici pentru întreținere pe termen lung.

Roof Pole – stâlpul de pe acoperiș, asemănător cu primul, dar montat pe acoperișul unei clădiri, acest tip de structură este soluția ideală pentru mediul urban. Aceste stâlpi sunt utilizați în orașe pentru a îmbunătăți semnalul fără a afecta estetica spațiului urban.

Rooftop Tower – turnul de acoperiș, este o structură mai complexă și mai vizibilă decât Roof Pole, gândită pentru clădiri care au nevoie de mai multe antene sau de echipamente mai mari. Este un fel de „mini-turn” construit pe acoperișuri, unde GFRP aduce o combinație optimă între greutate redusă și rezistență structurală. E ca o soluție de mijloc între simplu și robust.

Greenfield Tower – turnul independent pe teren liber, este mare, stabil și capabil să susțină echipamente pentru acoperiri extinse. Construit complet din GFRP, acest turn este ușor de transportat în zone greu accesibile și are o durată de viață excelentă, chiar și în condiții de umiditate, frig sau căldură intensă.

Fiecare dintre aceste structuri servește unui scop clar în rețeaua care ne ține conectați. Alegerea GFRP nu este doar una tehnologică, ci și una strategică: mai puțină întreținere, montare mai rapidă și o amprentă de mediu mai mică. Într-o lume în care comunicarea este vitală, GFRP ajută semnalul să ajungă mai departe – mai ușor, mai sigur și mai eficient.

Viitorul GFRP în infrastructura telecom

Viitorul GFRP în telecomunicații este promițător. Cercetările continue se bazează pe îmbunătățirea proprietăților materialului, prin dezvoltarea de noi rășini cu performanțe care corespund standardelor [6]. GFRP va juca un rol cheie în extinderea rețelelor 5G și 6G, în crearea unor infrastructuri mai reziliente și durabile, inclusiv infrastructura subterană. Colaborarea dintre cercetători și industrie va accelera adoptarea. GFRP este pregătit să transforme modul în care construim și întreținem rețelele de telecomunicații. Implementarea continuă în domeniul telecomunicațiilor va asigura o conectivitate mai stabilă și mai rezistentă la provocările moderne, caracteristici reflectate în tabelul de mai jos [7].

Caracteristici principale GFRP

Tipul structurii	Înălțime (aproximativă)	Caracteristici principale
Antenna Pole	2-3m	- 70% mai ușor (2,1 kg/m ³) - Izolație excelentă și transmisie a undelor
Roof Pole	3m, 6m	- 50% mai ușor (123kg/m ³) - Ancorare cu șuruburi chimicesaubazăautoportantă
Rooftop Tower	6m, 9m	- 30% - 50% mai ușor - Design modular, fără macara - Achiziție ușoară a locației
Greenfield Tower	12m, 18m	- Transport ușor - Instalare în 2 zile - Nu necesită vopsire și întreținere

Integrarea structurilor din GFRP în infrastructura de telecomunicații, precum stâlpii și turnurile pentru antene, contribuie semnificativ la reducerea interferențelor electromagnetice datorită proprietăților izolatoare ale materialului. Această caracteristică susține performanța echipamentelor, inclusiv a routerelor Mikrotik, în conformitate cu standardele de testare pentru compatibilitate electromagnetică (EMC) [5].

Concluzii

Implementarea materialului plastic armat cu fibră de sticlă în infrastructura telecomunicațiilor reprezintă o soluție modernă și eficientă, adaptată cerințelor tehnologice actuale și viitoare. Prin caracteristicile sale – greutate redusă, rezistență la coroziune, durabilitate și izolație electrică – GFRP oferă avantaje semnificative față de materialele tradiționale, precum oțelul. Utilizarea acestui material permite optimizarea logisticii de instalare, reducerea costurilor de întreținere și îmbunătățirea performanței echipamentelor, inclusiv din perspectiva compatibilității electromagnetice. Aplicațiile practice demonstrate în construcția de stâlpi și turnuri pentru antene arată că GFRP nu este doar o alternativă viabilă, ci și una strategică pentru dezvoltarea unei infrastructuri de telecomunicații mai sustenabile, flexibile și pregătite pentru provocările viitorului digital.

Bibliografie

- CARCEA, I. *Materiale composite fenomene la interfata*; Editura: Politehniun, 2008. Disponibil online: <https://sim.tuiasi.ro/wp-content/uploads/2015/Carcea4-Materiale%20Compozite.%20Fenomene%20la%20interfata.pdf> (accesat 25.05.2025).
- HONGSHUAI GAO.; YUE SUN, JIASHUO JIAN. Study on mechanical properties and application in communication pole line engineering of glass fiber reinforced polyurethane composites (GFRP). *Case Studies in Construction Materials*, 2023, doi: 10.1016/j.cscm.2023.e01942.
- Baliram, S.; Nithisha, G.; Ganesh, S. Characterization of GFRP Material. *Journal of Ceramics and Concrete Technology* 2021, Volumul 6 Issue 3, pp. 25–37, ISSN: 2457-0826.
- MUHAMMAD SAGIR MUHAMMAD, *Comparative study of glass fiber reinforced polymer (GFRP) and steel bars in reinforced concrete (RC) members*, Nicosia, 2019. Disponibil online: <https://docs.neu.edu.tr/library/6742572261.pdf> (accesat 25.05.2025).
- Sava, L., Tîrșu, V., Plămădeală, C. (2024). Performance Evaluation of Mikrotik Routers According to Electromagnetic Compatibility Testing Standards. *Electrotehnica, Electronica, Automatica*, 72(4), 57–61. ISSN: 2392-828X. Category: B+. Available at: <https://eea-journal.ro/articles-and-issues/current-issues/>.
- PORUBIN, L.; CATERENCIUC, S. [English for Electronics and Telecommunication Engineering](#). Chisinau, „Tehnica-UTM”, 2025, ISBN 978-9975-64-502-7
- JECHIU, A.; PORUBIN, L. *English for Power and Electrical Engineering Students*, Chisinau, „Tehnica-UTM”, 2022, ISBN 978-9975-45-787-3

SYSTEM DESIGN FOR IOT TRANSMITTERS WITH DYNAMIC APPLICATION-LAYER PROTOCOL SWITCHING

Serhiy SAMSONOV^{1*}, Larysa GLOBA²

¹ PhD student, Institute of Telecommunication Systems, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

² Prof., Institute of Telecommunication Systems, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

*Corresponding author: Serhiy Samsonov, s.samsonov@kpi.ua

Tutor/coordinator: **Larysa GLOBA**, Prof., National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

Abstract. This paper explores a method for improving the data transmission process in resource-constrained IoT systems that rely on protocols such as MQTT, CoAP, and LwM2M. Drawing on recent analyses of the strengths and weaknesses of these widely used application-layer protocols, the study identifies a key research gap: very few papers concentrate on different application layer protocol interconnection, and no research is present on IoT transmitters capable of dynamically selecting which protocol to use under changing network conditions. To address this need, we propose a system design that supports devices switching between two different application-layer protocols without incurring the substantial overhead of full firmware updates. Instead, devices receive updated configuration profiles over the network, thus minimizing downtime and resource consumption. A dedicated backend infrastructure coordinates the protocol translation and gateway functions and collects network indicators (e.g., signal-to-noise ratio and retransmission counts). These indicators feed a decision-making module, which adjusts the configuration parameters sent to IoT transmitters. This arrangement is expected to reduce energy usage and improve reliability for battery-powered, low-power devices operating in unstable environments by using the most suitable application protocol for transmission at a given moment. Future developments will incorporate advanced analytics, including machine learning, to refine the decision process and further enhance adaptability and scalability.

Keywords: CoAP, constrained devices, IoT protocols, LwM2M, MQTT.

Introduction

A review of current scientific literature reveals numerous investigations into communication protocols for the Internet of Things (IoT). Application-layer protocols such as Message Queuing Telemetry Transport (MQTT), Constrained Application Protocol (CoAP), and Lightweight M2M (LwM2M) are commonly recognized as fundamental for resource-constrained IoT solutions [1]. Their usage is generally associated with lower energy consumption, reliable data transfer, and secure transmission.

Works that explore and compare different application-layer protocols [2] emphasize that CoAP has minimal additional overhead. However, it cannot guarantee complete message delivery under poor network conditions. By contrast, MQTT has shown robust performance for battery-restricted devices in specific scenarios. In-depth comparisons including MQTT, CoAP, and HTTP further illustrate their strengths and weaknesses, considering message size and header length, energy usage, latency, and various Quality of Service (QoS) mechanisms [3,4].

Despite abundant research on these protocols, existing publications rarely describe IoT systems featuring “smart” transmitters capable of dynamically assessing network conditions and switching among multiple protocols. Such an approach must address real-world constraints. For instance, because IoT devices are resource-limited, switching among more than two protocols

may be impractical. In addition, the backend infrastructure must be prepared appropriately—for example, by having an appropriate “protocol interconnector” [5] and a specialized “protocol gateway.”

Backend Architecture Supporting Multiprotocol IoT Transmitters

Fig. 1 shows a proposed IoT architecture that includes all necessary backend components for employing multiprotocol transmitters in various scenarios. In contrast to standard multiprotocol solutions, two additional nodes are introduced to coordinate such transmitters.

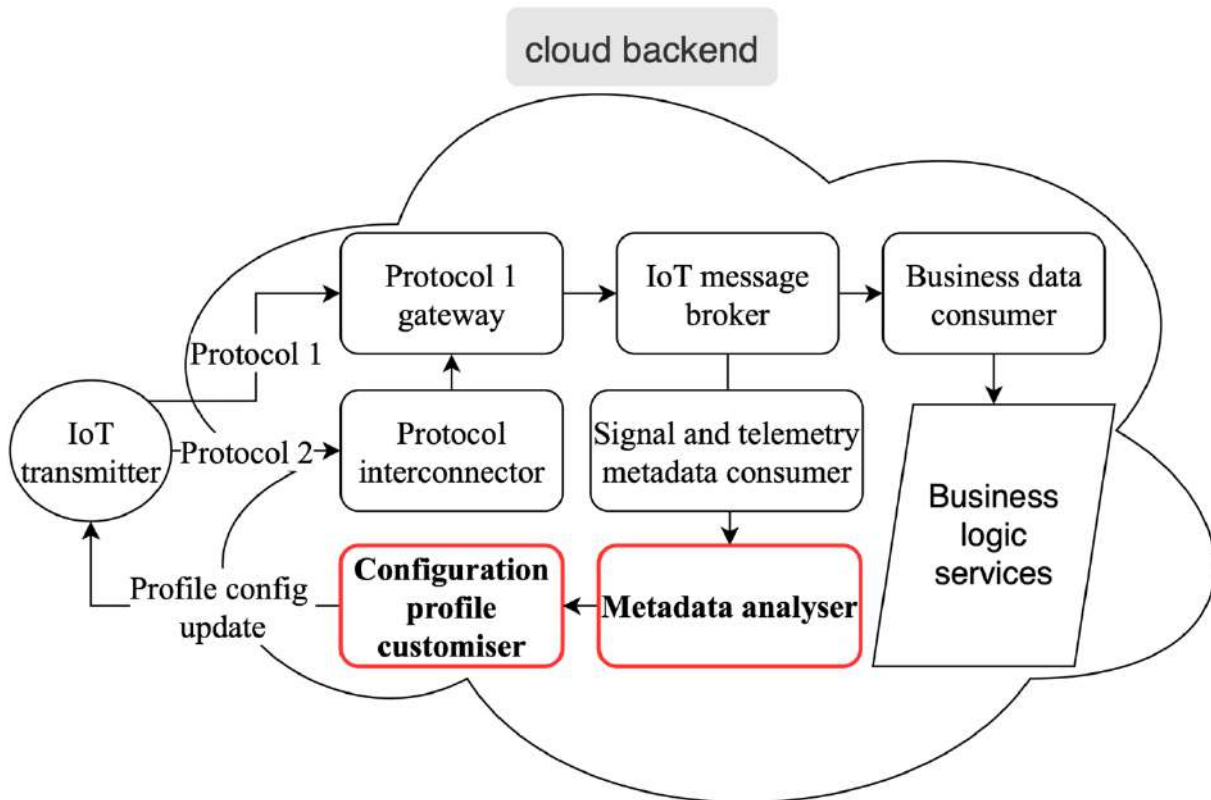


Figure 1. Proposed multiprotocol IoT architecture

Below is a brief overview of each node's role:

- **IoT transmitter** gathers or aggregates data and sends it to the cloud. Based on real-time network conditions and configuration updates from the backend system, it selects one of two application-layer protocols for each message.
- **Protocol interconnector** is a gateway for messages sent via Protocol 2 and a converter that transforms these messages into Protocol 1 format. Once converted, the messages move on to Protocol 1's gateway.
- **Protocol 1 gateway** is the standard entry point for all messages—directly from the IoT transmitter or the protocol interconnector. This node may attach metadata and then forward the messages to the IoT message broker as needed.
- **IoT message broker** stores incoming IoT messages. Because the volume of messages can be substantial, having a dedicated broker enhances the backend system's reliability, fault tolerance, and scalability. It also enables various services to read only the data they require.
- **Business data consumer** and business logic services embody the system's core business logic but are not the primary focus of this paper.
- **Signal and telemetry metadata consumer** acquires relevant data for evaluating network conditions (e.g., signal-to-noise ratio), device battery level, message type

- (e.g., a critical failure report or a normal heartbeat), and the quality of message delivery (e.g., latency, number of retries, QoS level, and which protocol was used).
- **Metadata analyzer processes** the data from the previous node, leveraging extensive collections of statistical information to decide which protocol is advisable under given conditions. The decision logic can be based on machine learning or hard-coded algorithms. This decision is then sent to the configuration update module.
 - **Configuration profile customiser** receives the protocol selection recommendation from the metadata analyzer, converts it into a format suitable for updating the IoT transmitter's configuration, and sends the update accordingly.

A key aspect here is that only the transmitter's configuration (rather than its firmware) is changed. If the IoT transmitter's software is sufficiently flexible, updating its protocol selection strategy can be achieved through smaller-scale configuration updates. Compared to a complete firmware upgrade, this approach imposes less network overhead and reduces the risk of device failure if the firmware update process is interrupted.

Conclusions

This article proposes a multiprotocol system design that enables IoT devices to select the most suitable application-layer protocol for transmission dynamically. By updating only the devices' configuration rather than performing complete firmware updates, the solution aims to reduce network overhead and the risk of device failure. The dedicated backend architecture (including protocol gateways and a metadata analyzer) gathers signal data and informs protocol choices in real-time. As a result, resource-constrained IoT systems may operate more reliably under unstable conditions while conserving energy and network resources.

References

1. AL-MASRI, E.; KALYANAM, K.R.; BATTS, J.; KIM, J.; SING, S.; VO, T.; YAN, C. Investigating Messaging Protocols for the Internet of Things (IoT). *IEEE Access* 2020, 8, 94880–94911, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2993363.
2. SHARMA, C.; GONDHI, N.K. Communication Protocol Stack for Constrained IoT Systems. *2018 3rd International Conference on Internet of Things: Smart Innovation and Usages(IoT-SIU)*, Bhimtal, India, 25–27 February 2018; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2018; pp.1–6, doi: 10.1109/IoT-SIU.2018.8519904.
3. SREERAJ, S.; KUMAR, G.S. Performance of IoT Protocols under Constrained Network: A Use Case Based Approach. *2018 International Conference on Communication, Computing and Internet of Things (IC3IoT)*, Chennai, India, 15–17 February 2018; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2018; pp. 495–498, doi: 10.1109/IC3IoT.2018.8668105.
4. NAIK, N. Choice of Effective Messaging Protocols for IoT Systems: MQTT, CoAP, AMQP and HTTP. *2017 IEEE International Systems Engineering Symposium (ISSE)*, Vienna, Austria, 11–13 October 2017; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2017; pp. 1–7, doi: 10.1109/SysEng.2017.8088251.
5. DAVE, M.; DOSHI, J.; AROLKAR, H. MQTT–CoAP Interconnector: IoT Interoperability Solution for Application Layer Protocols. *2020 Fourth International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC)*, Palladam, India, 7–9 October 2020; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2020; pp. 122–127, doi: 10.1109/I-SMAC49090.2020.9243377.

INTEGRAREA MECANISMELOR DE ÎNVĂȚARE AUTOMATĂ ÎN PROCESUL DE DETECȚIE AVANSATĂ A AMENINȚĂRILOR CIBERNETICE ÎN MEDIILE CLOUD

Andrei NITREANU

Departamentul Tehnologii și Sisteme Electronice, MMRT 241, Facultatea Electronică și Telecomunicații,
Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

Îndrumător/coordonator științific: Lilia SAVA, lilia.sava@fet.utm.md, FET UTM

Rezumat. *Evoluția rapidă a inteligenței artificiale (AI) a determinat o transformare semnificativă în domeniul securității cibernetice, în special în proiectarea și implementarea sistemelor de detectare a intruziunilor (IDS). Aceste sisteme moderne utilizează tehnici avansate de învățare automată și învățare profundă pentru a analiza traficul de rețea și a identifica în timp real activități anormale sau potențial malițioase. Prin capacitatea lor de a învăța din date noi și de a se adapta la amenințări emergente, IDS-urile bazate pe AI oferă o protecție mai eficientă comparativ cu metodele tradiționale, care se bazează pe reguli statice sau comparații între seturi prestabilite de parametri.*

Lucrarea de față își propune să evidențieze arhitectura unui sistem IDS construit pe fundamente de inteligență artificială, analizând avantajele, limitările și potențialul acestor tehnologii. Printre beneficiile majore se numără detectarea timpurie a amenințărilor avansate, răspunsul în timp real la incidente și reducerea semnificativă a alarmelor false, datorită analizei contextuale a traficului de rețea. Totuși, implementarea acestor sisteme nu este lipsită de provocări, cum ar fi necesitatea unor volume mari de date de calitate pentru antrenarea modelelor și dificultatea interpretării deciziilor luate de algoritmi, aspecte care pot afecta încrederea în sistem.

Prin această abordare, articolul oferă o perspectivă integrată asupra aplicării AI în infrastructura de securitate a rețelelor informatice, evidențiind atât potențialul tehnologic, cât și limitările actuale ale acestor sisteme. Elementul de originalitate constă în articularea unui cadru conceptual care îmbină inteligența artificială cu cerințele operaționale ale securității moderne, oferind soluții scalabile și eficiente pentru protejarea sistemelor critice împotriva amenințărilor cibernetice dinamice.

Cuvinte cheie: IDS, AI, Machine Learning, Deep Learning

Introducere

Odată cu extinderea rapidă a tehnologiilor cloud, apar tot mai multe provocări legate de securitate. Migrarea masivă spre infrastructuri cloud a dus la o complexitate crescută, în special pe fondul lipsei de specialiști calificați în domeniul cloud, al creșterii accelerate a numărului de dispozitive conectate – inclusiv din sfera Internet of Things (IoT) – și al diversificării mediilor multi-cloud.

În procesul de tranziție către cloud, organizațiile se confruntă adesea cu riscuri privind securitatea datelor, mai ales când aplicațiile existente nu au fost dezvoltate având în vedere criterii stricte de securitate. Adaptarea acestor aplicații la arhitecturi cloud-native poate genera vulnerabilități suplimentare, în special din cauza configurărilor greșite. De asemenea, întârzierile în aplicarea măsurilor de securitate asupra noilor sarcini de lucru pot amplifica expunerea la amenințări cibernetice.

Utilizarea inteligenței artificiale pentru îmbunătățirea securității în cloud

Pe măsură ce lumea începe să adopte inteligența artificială generativă (gen AI) pentru diverse cazuri de utilizare, există o oportunitate de a utiliza această tehnologie emergentă pentru

a îmbunătăți protecția securității cibernetice în cloud. Standardele de securitate în cloud sunt o componentă esențială a protecțiilor de securitate cibernetică ale unei organizații. Utilizarea tehnologiei AI pentru stabilirea, monitorizarea și gestionarea controalelor de securitate a cloud-ului în cadrul patrimoniului cloud al unei organizații ar trebui să fie concepută pentru a proteja împotriva configurărilor greșite cauzate de om și pentru a furniza rapoarte privind conformitatea cu cerințele de securitate a cloud-ului.

Există trei modalități principale de îmbunătățire a posturii de securitate în cloud prin stabilirea unor capacități de monitorizare continuă a controalelor cu ajutorul inteligenței artificiale:

- Implementare: Standardele de securitate în cloud pot fi traduse de AI pentru a permite implementarea fără întreruperi a controalelor de securitate în cloud de protecție și detecție, ceea ce ar duce la îmbunătățirea productivității și a conformității cu astfel de cerințe.
- Gestionare: Un model de inteligență artificială poate fi instruit să învețe în permanență despre mediu, să furnizeze modificări actualizate ale controalelor posturii de securitate în cloud și să răspundă rapid la orice preocupări detectate.
- Detectarea amenințărilor: Un model de inteligență artificială poate fi, de asemenea, instruit să detecteze, să coreleze și să alinieze standardele de securitate în cloud cu amenințările și cu capacitățile de răspuns automat și semiautomat pentru acțiuni și analize în timp real. [1]

O soluție de monitorizare continuă a controalelor care utilizează gen AI demonstrează că este soluția ideală, în care mediile IT sunt conforme cu cele mai recente standarde de securitate cloud și se pot adapta la derapajele de configurare greșită pe măsură ce acestea apar, corectând automat expunerile cu risc ridicat.

Deoarece o soluție de monitorizare continuă a controalelor este dinamică și se autoregenerează, capacitățile sale ar trebui să accelereze implementarea controalelor de securitate în cloud care se aliniază la politicile companiei. De asemenea, soluția ar îmbunătăți operațiunile de securitate, oferind vizibilitate asupra activelor și activității din cloud în cadrul mai multor furnizori de cloud. Între timp, în cazul unei breșe de securitate, soluția AI ar identifica amenințările și ar accelera investigațiile prin analiza comportamentului, a fluxului de date și a vulnerabilităților. Dacă este utilizată corespunzător, inteligența artificială poate fi exploatată pentru a contribui la realizarea unor controale de securitate cibernetică mai eficiente, la asigurarea conformității și la îmbunătățirea gestionării și supravegherii generale a riscurilor cibernetice în cloud.

Pentru a completa informațiile despre utilizarea AI în securitatea cloud, este important de menționat și provocările care pot apărea. Deși inteligența artificială aduce multiple avantaje, cum ar fi îmbunătățirea eficienței în implementarea și gestionarea controalelor de securitate, există și obstacole semnificative. Unul dintre cele mai mari provocări este calitatea datelor: modelele AI depind de date precise și complete pentru a învăța și a lua decizii corecte. Datele incomplete sau incorecte pot duce la interpretări greșite și la decizii eronate, afectând securitatea generală a mediului cloud. În plus, există riscuri legate de confidențialitate și protecția datelor, deoarece AI analizează volume mari de informații, iar protejarea acestora într-un mediu de cloud devine esențială. Totodată, adoptarea tehnologiilor AI poate necesita investiții semnificative în infrastructură și resursele necesare pentru antrenarea și menținerea modelelor, iar aceste costuri pot reprezenta o barieră pentru unele organizații.

Tipuri de învățare în inteligența artificială și aplicațiile lor în securitatea mediilor cloud

Machine Learning – ML este o ramură a inteligenței artificiale (AI) care se concentrează pe dezvoltarea de algoritmi capabili să învețe automat din date, fără a fi programați explicit pentru fiecare sarcină. Spre deosebire de programarea tradițională, unde un computer execută

instrucțiuni clar definite, ML permite sistemelor informatice să analizeze volume mari de date și să ia decizii sau să facă predicții pe baza acestora. [2]

În esență, ML presupune furnizarea unui set de date de antrenament și a unei sarcini – iar algoritmul trebuie să învețe, din acele exemple, cum să rezolve problema. O caracteristică esențială este faptul că algoritmi de învățare automată devin tot mai eficienți și preciși pe măsură ce procesează mai multe date, adaptându-se și optimizându-și performanța.

Un exemplu clasic este recunoașterea imaginilor: pentru a învăța ce este o pisică, unui algoritm de ML nu i se oferă definiții, ci mii de imagini cu pisici. Pe baza acestor exemple, algoritmul identifică automat tiparele și trăsăturile comune, astfel încât să poată recunoaște corect pisici și în imagini complet noi.

Această capacitate de a învăța din experiență și de a se perfecționa în timp face ca ML să fie o tehnologie extrem de versatilă și influentă. Este deja utilizată pe scară largă în asistenți virtuali, sisteme de recomandare, vehicule autonome și analize predictive, contribuind semnificativ la progresul tehnologic din multe domenii.

Machine Learning poate fi clasificată, în general, în trei tipuri, în funcție de natura sistemului de învățare și de datele disponibile: supervised learning, unsupervised learning și reinforcement learning.

* *Supervised learning* este cea mai răspândită formă de învățare automată. În acest tip de abordare, modelul este antrenat pe un set de date etichetat, ceea ce înseamnă că fiecare exemplu din datele de antrenament are asociată o etichetă (valoarea de ieșire așteptată). Modelul învață să coreleze caracteristicile de intrare (features) cu rezultatele dorite (label-uri), iar după încheierea antrenamentului, poate face predicții pentru date noi, neîntâlnite anterior. [3]

Algoritmi de învățare supravegheată sunt folosiți în două mari categorii de probleme: regresie (predicția unor valori continue, cum ar fi prețul unei case – cu algoritmi precum regresia liniară) și clasificare (încadrarea datelor în categorii, cum ar fi identificarea unei imagini ca fiind „pisică” sau „câine” – cu algoritmi precum regresia logistică, arborii de decizie sau mașinile cu vectori de suport).

Un exemplu practic este recunoașterea imaginilor: dacă oferim modelului un set de imagini etichetate corespunzător, acesta învață să recunoască tipare și poate clasifica în mod precis imagini noi. Acest tip de învățare este deosebit de util în aplicații precum detectarea fraudelor, analiza medicală, analiza sentimentelor sau recunoașterea vocală.

* *Unsupervised learning* reprezintă o abordare a învățării automate în care modelul este antrenat pe un set de date fără etichete. Spre deosebire de învățarea supravegheată, aici modelul nu primește valori de ieșire prestabilite, ci are sarcina de a identifica în mod autonom modele, tipare și relații în datele furnizate (fig.1). [4]

Această tehnică este utilizată frecvent în două tipuri de probleme: clustering (gruparea datelor similare) și reducerea dimensionalității (simplificarea datelor prin identificarea variabilelor esențiale). Un exemplu clasic de algoritm pentru clustering este *k-means*, iar pentru reducerea dimensionalității, *Analiza Componentelor Principale* (PCA) este larg utilizată.

În practică, învățarea nesupravegheată este folosită în numeroase domenii. De exemplu, în marketing, se aplică pentru segmentarea bazei de clienți. Prin analizarea comportamentului de cumpărare, a datelor demografice și a altor caracteristici, algoritmul poate grupa clienții în segmente cu comportamente similare, fără a avea nevoie de etichete prestabilite. Astfel, companiile pot adapta strategiile de vânzare și comunicare în funcție de aceste grupuri descoperite automat.

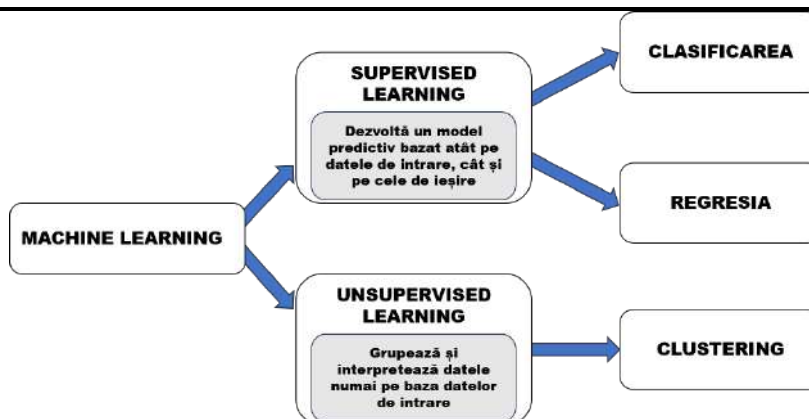


Figura 1. Compararea supervised și unsupervised learning

* *Reinforcement Learning* – RL este un tip de învățare automată în care un agent inteligent învață să ia decizii prin interacțiune directă cu un mediu. Agentul primește recompense sau penalizări în funcție de acțiunile pe care le efectuează, scopul fiind acela de a maximiza recompensa totală acumulată în timp.

Spre deosebire de învățarea supervised sau unsupervised, învățarea prin întărire este ideală pentru probleme secvențiale, unde deciziile luate la un moment dat influențează rezultatele viitoare. Agentul învață printr-un proces de încercare și eroare, ajustându-și comportamentul pe baza feedback-ului primit de la mediu. [5]

Exemple comune de aplicare a învățării prin întărire includ jocurile (precum șah sau Go), roboții care trebuie să navigheze într-un spațiu, gestionarea resurselor în sisteme complexe sau optimizarea traficului de rețea. Datorită capacității sale de adaptare dinamică, RL este din ce în ce mai explorat în securitatea cibernetică, unde poate ajuta sistemele să răspundă autonom la amenințări în timp real.

Deep Learning este o ramură avansată a învățării automate (Machine Learning), care, la rândul ei, face parte din domeniul mai larg al inteligenței artificiale (fig.2).

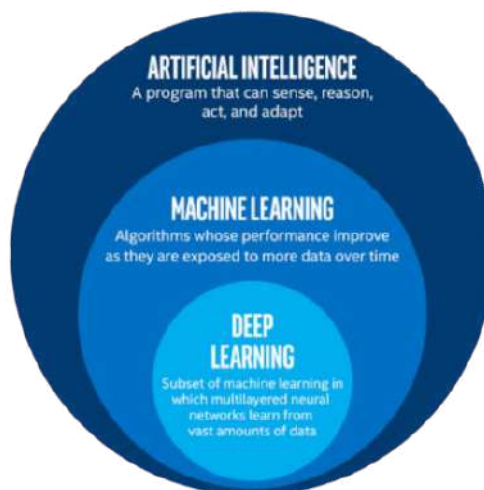


Figura 2. AI vs. ML vs. DL [6]

Deep Learning se inspiră din modul în care funcționează creierul uman și utilizează rețele neuronale artificiale compuse din mai multe straturi pentru a analiza și interpreta date. Aceste straturi funcționează asemenea unor filtre progresive, extrăgând din date caracteristici din ce în ce mai abstracte, până când se poate lua o decizie sau face o clasificare. Rețelele neuronale pot îndeplini sarcini precum clasificarea, regresia sau gruparea datelor fără a necesita o intervenție umană extinsă, așa cum este necesar în cazul algoritmilor clasici de machine learning. De fapt,

ele pot rezolva probleme pe care metodele tradiționale nu le pot aborda. Progresele recente din domeniul inteligenței artificiale, precum recunoașterea vocală, traducerea automată, vehiculele autonome sau sistemele de recomandare, se bazează în mare parte pe Deep Learning. Această tehnologie revoluționează modul în care computerele înțeleg și interacționează cu lumea, marcând începutul unei noi ere în automatizare și inteligență digitală.[6]

Înainte de apariția învățării profunde (Deep Learning), metodele tradiționale de învățare automată, precum arborii de decizie, mașinile cu vectori de suport (SVM), clasificatorii Naïve Bayes sau regresia logistică, erau utilizate pentru sarcini de clasificare sau regresie. Acestea sunt denumite și „algoritmi plăți”, întrucât nu pot fi aplicate direct pe date brute (cum ar fi imagini sau text), necesitând un pas preliminar de extragere manuală a caracteristicilor relevante (feature extraction). Acest proces este complex și necesită expertiză specifică domeniului. În contrast, rețelele neuronale artificiale din Deep Learning elimină această etapă, fiind capabile să învețe reprezentări abstracte ale datelor brute în mod automat, prin straturi succesive de procesare.

Astfel, în cazul imaginilor, de exemplu, un model clasic necesită introducerea manuală a caracteristicilor definitorii ale unui obiect (precum roți, formă, dimensiune), în timp ce un model de învățare profundă recunoaște aceste trăsături fără intervenție umană, doar prin antrenarea pe seturi de date brute (Fig.3).

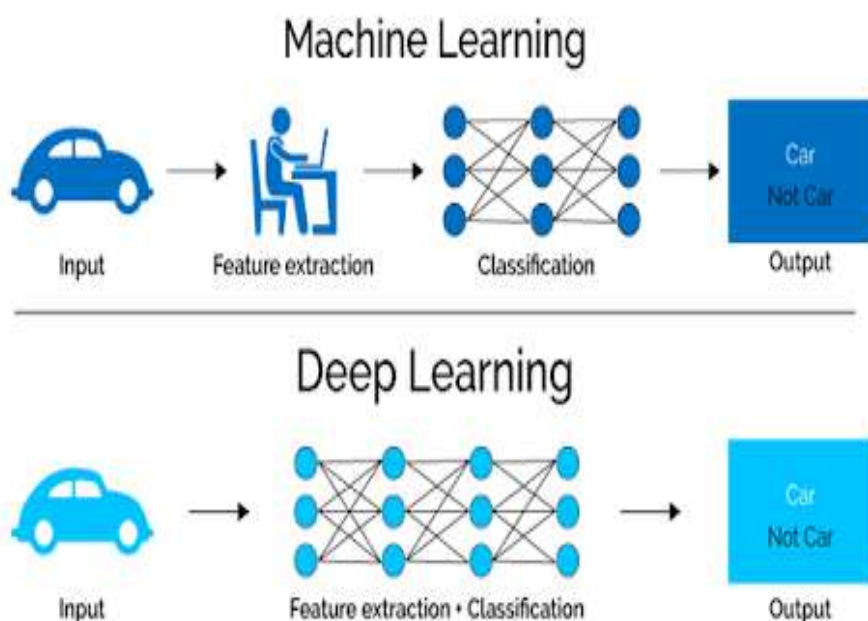


Figura 3. Extragerea caracteristicilor este necesară doar pentru algoritmi ML [6]

Acest avantaj major face ca Deep Learning să fie mult mai eficient și adaptabil în probleme complexe, reducând considerabil efortul de preprocesare și oferind rezultate superioare în multe domenii, inclusiv în detecția amenințărilor cibernetice în medii cloud.

Arhitectura sistemului de detectare a intruziunilor bazată pe inteligență artificială propusă în această lucrare reflectă o abordare modernă și integrată de protecție a rețelelor informatice împotriva unui spectru tot mai larg și mai sofisticat de amenințări cibernetice (fig.4). Această arhitectură este concepută pentru a funcționa într-un mediu complex, în care volumele de date sunt mari, traficul este divers și neuniform, iar metodele tradiționale de protecție, bazate exclusiv pe semnături sau reguli statice, nu mai oferă suficientă flexibilitate și acuratețe. Prin integrarea tehnologiilor de inteligență artificială, în special a învățării automate (machine learning) și a învățării profunde (deep learning), sistemul devine capabil să învețe din comportamentele rețelei, să identifice automat anomalii și să răspundă rapid la posibile atacuri, inclusiv de tip zero-day.

Funcționarea arhitecturii începe cu componenta de monitorizare, situată la nivelul infrastructurii fizice sau virtuale a rețelei. Aceasta preia în timp real pachetele de date care circulă între dispozitive, aplicații și servicii. Traficul este captat folosind tehnologii precum port mirroring sau Network TAP, fără a afecta fluxul normal de date. Captarea se face fie local, fie într-un mediu cloud, în funcție de configurația organizației. Traficul capturat este direcționat către un buffer temporar, unde este menținut pentru a permite procesarea etapizată.

După captare, datele sunt transmise către un modul de achiziție, responsabil pentru extragerea trăsăturilor esențiale ale fiecărui pachet: sursă, destinație, protocol, dimensiune, timp de transmitere și alte metadate relevante. Aceste informații sunt convertite într-un format structurat, pregătit pentru analiză automată. În această etapă se efectuează și preprocesarea datelor: eliminarea valorilor redundante sau lipsă, normalizarea datelor numerice, codificarea datelor textuale și segmentarea fluxurilor de trafic în sesiuni semnificative. Prelucrarea atentă a datelor este esențială pentru a asigura performanța modelelor AI în fazele următoare.

Arhitectura unui sistem IDS bazat pe Inteligența Artificială

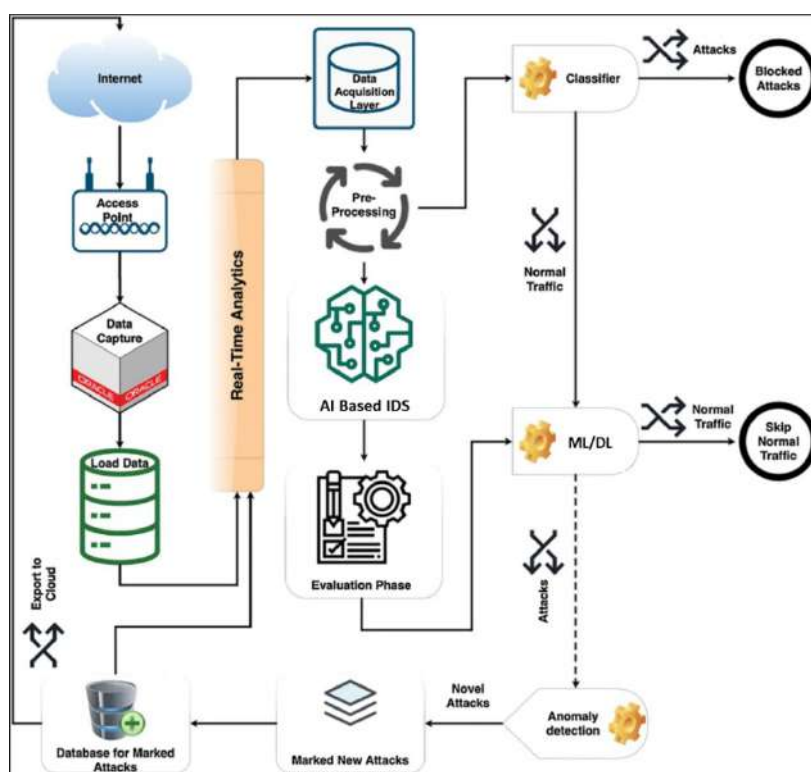


Figura 4. Arhitectura sistemului IDS bazat pe AI

Etapa centrală a arhitecturii este analiza bazată pe inteligență artificială. Modelul AI este antrenat pe un set de date etichetat anterior, care conține atât exemple de trafic legitim, cât și tipuri variate de atacuri (de exemplu: atacuri de tip DoS, brute-force, injection, scanning sau exfiltrare de date). În funcție de complexitatea modelului, pot fi utilizate algoritmi de clasificare (Random Forest, SVM, KNN) sau rețele neuronale convoluționale și recurente, adaptate pentru date secvențiale și multidimensionale. Modelul analizează în timp real datele prelucrate și atribuie fiecărei sesiuni de trafic o etichetă: normal sau anormal. Spre deosebire de sistemele bazate pe semnături, care pot detecta doar amenințări cunoscute, un model AI antrenat corespunzător este capabil să identifice modele comportamentale atipice, chiar dacă nu s-a mai confruntat anterior cu exact acea amenințare.

Traficul identificat ca anormal este direcționat către o componentă de evaluare, unde sunt aplicate tehnici suplimentare de verificare pentru a filtra eventualele alerte false pozitive. În această fază se pot aplica reguli contextuale, se poate implica un analist uman sau se pot corela informațiile cu date din surse externe (cum ar fi feed-uri de amenințări sau loguri istorice). Dacă o anomalie este confirmată ca o intruziune reală, sistemul poate declanșa acțiuni automate: izolarea unui nod compromis, întreruperea unei sesiuni suspecte sau notificarea echipei de securitate prin alerte în timp real.

Un element esențial al acestei arhitecturi este capacitatea de auto-învățare. Datele colectate din evenimentele detectate, în special cele etichetate ulterior ca fiind atacuri noi sau necunoscute, sunt stocate într-un depozit de date. Aceste informații sunt utilizate periodic pentru reantrenarea modelului AI, permițându-i să își ajusteze parametrii și să devină mai performant în timp. Astfel, sistemul dobândește o formă de inteligență adaptivă, ceea ce îl face robust și eficient în fața unei game largi de atacuri.

Din punct de vedere operațional, arhitectura este concepută să funcționeze în mod scalabil și distribuit. Componentele sale pot fi implementate pe diferite niveluri ale rețelei – de la rețele locale până la centre de date cloud. Interoperabilitatea este asigurată prin interfețe standardizate, iar comunicarea între module se realizează prin protocoale sigure și eficiente. Arhitectura permite, de asemenea, integrarea cu alte sisteme de securitate (firewall, SIEM, antivirus), oferind o viziune unificată asupra evenimentelor de securitate.

Concluzii

Inteligența artificială a devenit un element esențial în asigurarea securității infrastructurilor cloud, oferind soluții moderne pentru detectarea, prevenirea și răspunsul la amenințările cibernetice din ce în ce mai complexe. Într-un peisaj digital caracterizat de volume mari de date și atacuri sofisticate, metodele tradiționale de securitate nu mai sunt suficiente, iar integrarea tehnologiilor de învățare automată și învățare profundă aduce un avantaj semnificativ. Prin analiza comportamentului sistemelor și identificarea anomaliilor în timp real, inteligența artificială permite o reacție rapidă și precisă la incidente, reducând erorile umane și timpul de intervenție. Totodată, aceste tehnologii se pot adapta constant la noi tipuri de amenințări, oferind o protecție dinamică și scalabilă. Cu toate acestea, utilizarea IA implică și provocări, precum necesitatea unor date de antrenament relevante, riscul de manipulare a modelelor și respectarea principiilor etice. În concluzie, inteligența artificială nu înlocuiește factorul uman, ci îl completează, oferind un instrument puternic pentru creșterea rezilienței cibernetice în mediile cloud și conturând un viitor în care securitatea este tot mai proactivă, inteligentă și automatizată.

Bibilografie

1. AI-driven compliance: The key to cloud security. IBM, ©2024 [citat 01.05.2025]. Disponibil: <https://www.ibm.com/think/insights/ai-driven-compliance-key-to-cloud-security#:~:text=Threat%20Detection%3A%20An%20AI%20model,real%2Dtime%20action%20and%20analysis>
2. What is Machine Learning? Definition, Types, Tools & More. DataCamp, ©2024 [citat 02.05.2025]. Disponibil: <https://www.datacamp.com/blog/what-is-machine-learning>
3. Supervised Machine Learning. GeeksforGeeks, ©2025 [citat 03.05.2025]. Disponibil: <https://www.geeksforgeeks.org/supervised-machine-learning/>
4. What is Unsupervised Learning?. GeeksforGeeks, ©2025 [citat 04.05.2025]. Disponibil: <https://www.geeksforgeeks.org/unsupervised-learning/>
5. Reinforcement Learning. GeeksforGeeks, ©2025 [citat 04.05.2025]. Disponibil: <https://www.geeksforgeeks.org/what-is-reinforcement-learning/>
6. What Is Deep Learning and How Does It Work?. Builtin, ©2023 [citat 05.05.2025]. Disponibil: <https://builtin.com/machine-learning/deep-learning>



OPTOELECTRONICA - FUNDAMENT TEHNOLOGIC AL REALITĂȚII VIRTUALE ȘI AUGMENTATE

Daniela GUȚU

*Departamentul Telecomunicații și Sisteme Electronice, IMTC-231, Facultatea Electronică și Telecomunicații,
Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova*

Autorul corespondent: Daniela Guțu, daniela.gutu@tse.utm.md

Îndrumătorul/coordonatorul științific: **Andrei DOROGAN**, dr., I. univ., FET, UTM.

Rezumat. *Lucrarea reprezintă un studiu al tehnologiilor de Realitate Virtuală (VR) și Realitate Augmentată (AR), evidențiind contribuția sistemelor optoelectronice la captarea, procesarea și redarea imaginilor și datelor senzoriale, subliniind potențialul de transformare a interacțiunii om-mașină și oferirea de noi oportunități în diverse domenii. În lucrare sunt analizate tehnologiile de urmărire a mișcării (optică, inerțială și hibridă) și senzorii de adâncime (stereoscopie, lumină structurată și Time-of-Flight), tehnologiile de afișare, precum LCD, OLED și micro-OLED, și soluțiile optice utilizate în dispozitivele montate pe cap (HMD), cum ar fi lentilele Fresnel și asferice. Deasemenea, sunt abordate provocările tehnologice în rezoluție, câmp vizual și consum de energie, integrarea inteligenței artificiale și dezvoltarea de componente optice inovatoare, cum ar fi elementele optice holografice (HOE) și micro-LED-urile.*

Cuvinte cheie: *realitate virtuală, realitate augmentată, senzori de adâncime, om-mașină, sisteme optoelectronice*

Introducere

Digitalizarea are un impact tot mai puternic asupra vieții noastre cotidiene. Tehnologiile emergente precum Realitatea Virtuală (VR) și Realitatea Augmentată (AR) transformă modul în care percepem și interacționăm cu lumea din jur. Inventatorul american Morton Heilig a pus bazele VR prin dispozitivul Sensorama [1]. Cercetările timpurii (1950-1970) au analizat impactul stimulilor vizuali, auditivi și tactili asupra sentimentului de prezență în medii virtuale. Ivan Sutherland și Bob Sproull au creat "Head-Mounted Display" (HMD) - un afișaj montat pe cap, considerat un precursor al căștilor VR modern, potrivit sursei [2].

Concepte și particularități ale Realității Virtuale (VR) și Realității Augmentate (AR)

Realitatea Virtuală (VR) este o tehnologie care creează utilizatorului un mediu digital complet simulat, prin intermediul unui dispozitiv special, cum ar fi o cască VR. Acest mediu poate fi interactiv și poate imita situații reale sau imaginate, eliminând complet percepția asupra mediului fizic real. Utilizatorii pot interacționa cu obiectele virtuale și pot naviga în spații tridimensionale generate digital, ceea ce face din VR un instrument valoros pentru simulări, training-uri și explorări creative [3].

Pe de altă parte, Realitatea Augmentată (AR) furnizează utilizatorului elemente vizuale, sunet și alte informații senzoriale prin intermediul unui dispozitiv precum un telefon smart, ochelari sau o cască. Aceste informații sunt suprapuse pe dispozitiv pentru a crea o experiență interconectată și captivantă, în care informațiile digitale modifică percepția utilizatorului asupra lumii fizice. Cea mai mare diferență dintre AR și VR este că realitatea augmentată folosește mediul real existent și suprapune informații virtuale peste acesta, în timp ce VR imersează complet utilizatorii într-un mediu randat virtual. Dispozitivele AR sunt mai puțin restrictive și includ, de obicei, dispozitive precum telefoane, ochelari, proiecții și HUD-uri.

Principiile optoelectronice din spatele tehnologiilor VR/AR

Captarea mișcării joacă un rol important pentru a asigura o experiență imersivă și precisă. Pentru a realiza acest lucru, sunt folosite diverse tipuri de camere, fiecare având specificul ei tehnic.

Camerele cu infraroșu emit lumină invizibilă, captată de senzori și reflectată de obiecte, care pot fi detectate în întuneric sau lumină scăzută. Eficiența camerelor în medii slab iluminate reprezintă un avantaj, dar poate fi afectată de alte surse infraroșii. Camerele RGB captează imagini colorate prin canalele roșu, verde și albastru, fiind utile pentru urmărirea și recunoașterea obiectelor după culoare, permițând o analiză detaliată a imaginii. Performanța scăzută la lumină slabă reprezintă un dezavantaj, deoarece depinde de lumina ambientală [4]. Camerele Time-of-Flight (ToF) măsoară timpul de propagare al unui semnal luminos (infraroșu) până la un obiect și înapoi, calculând astfel distanța exactă. Un mare avantaj este obținerea de date 3D detaliate datorită preciziei sporite [5].

Aceste camere oferă soluții variate pentru detectarea mișcării și a obiectelor din mediu. În practică, sistemele AR/VR integrează multiple metode de urmărire, cum ar fi urmărirea optică, care utilizează camere pentru a detecta marcaje plasate pe subiect. Aceste marcaje pot fi active, emițând lumină, sau pasive, reflectând lumina ambientală, oferind precizie ridicată, dar fiind susceptibile la ocluziuni și interferențe luminoase. Urmărirea inerțială se bazează pe unități IMU (Inertial Measurement Unit) pentru a măsura accelerații și rotații, fiind independentă de condițiile de iluminare, însă prezintă o provocare datorită acumulării de erori în timp. Urmărirea hibridă necesită algoritmi complecși de fuziune a datelor și calibrare pentru a depăși limitările individuale ale fiecărei metode. O provocare este extinderea câmpului de vizualizare, importantă pentru a evita pierderea urmăririi, soluțiile implicând adesea sisteme mult mai complexe.

Senzorii de adâncime permit aplicații variate, de la cartografiere 3D la interacțiuni în realitate virtuală. Cele trei metode principale de măsurare sunt stereoscopia, lumina structurată și Time-of-Flight (ToF).

Stereoscopia permite crearea iluziei adâncimii prin redarea către fiecare ochi a unei imagini puțin diferite – o iluzie convingătoare datorată modului natural de funcționare al ochilor. Datorită poziționării acestora, fiecare ochi percepe o imagine ușor diferită, iar creierul interpretează această informație drept adâncime. Această metodă, deși accesibilă și inspirată din vederea umană, are precizie limitată în zone fără textură sau sub iluminare nefavorabilă. Senzorii cu lumină structurată proiectează modele luminoase pe obiecte, analizând deformările acestora pentru o reconstrucție 3D ulterioară. Metoda asigură precizie bună și funcționează chiar pe suprafețe netede, fiind sensibilă la excesul de lumină ambientală. Senzorii ToF (Time-of-Flight) determină distanța prin emiterea de lumină modulată (laser/LED) și măsurarea timpului de revenire a luminii reflectate. Deși oferă precizie ridicată, sunt sensibili la interferențe luminoase și necesită calibrare atentă. În tehnologiile VR/AR, senzorii de lumină ambientală sunt esențiali pentru confortul vizual. Ei detectează intensitatea luminii externe și ajustează automat luminozitatea afișajului. Se folosesc fotodiode (cu răspuns rapid, sensibilitate înaltă), fototranzistori (cu sensibilitate sporită prin amplificare) și senzori integrați (cu calibrare și interpretare precisă).

Dispozitivele HMD (Head-Mounted Displays) sunt semnificative pentru experiența în Realitate Virtuală și Augmentată, influențând direct calitatea imaginii, confortul și nivelul de imersiune.

Printre tehnologiile utilizate în HMD-uri se disting:

- Afișajele LCD (Liquid Crystal Display), bazate pe tehnologia cristalelor lichide. Principala lor limitare constă în performanța moderată: latență sporită și gamă dinamică redusă, ceea ce poate compromite calitatea imaginii în scene cu mișcare rapidă sau în condiții de iluminare slabă.
- OLED (Organic Light-Emitting Diode) este o tehnologie de afișaj, în care fiecare pixel emite lumină proprie. Se disting prin contrast excelent și culori vii, asigurând contrast

coloristic și răspuns ultra-rapid. Dezavantajul principal îl reprezintă costurile mari de producție.

- Micro-OLED este o versiune miniaturizată a tehnologiei OLED, optimizată pentru rezoluții ultra-înalte cu un design compact. Ideală pentru dispozitive VR/AR de ultimă generație, oferă imagini cristaline cu consum energetic redus, datorită structurii pe siliciu și unei densități mari de pixeli (peste 3000 ppi).

HMD-urile integrează soluții optice avansate pentru o experiență VR optimă. Lentilele Fresnel reduc semnificativ greutatea și dimensiunile dispozitivelor, menținând în același timp calitatea optică. În paralel, lentilele asferice corectează artefactele și îmbunătățesc claritatea imaginii [6]. Două caracteristici cheie asigură imersiunea și confortul: un câmp de vizualizare (FOV- Field of View) generos, care elimină efectul de "vizzor" și creează senzația de spațiu real, și sistemul de ajustare a distanței interpupulare (IPD-Interpupillary Distance), care personalizează poziția lentilelor pentru o vedere clară [7].

Afișajele holografice reprezintă o tehnologie avansată care proiectează imagini 3D fără necesitatea ochelarilor. Prin holografia bazată pe interferența și difracția luminii se capturează și se reconstruiește fidel structura spațială a obiectelor. Un rol cheie în această tehnologie îl joacă elementele optice holografice (HOE), componente specializate care manipulează lumina pentru a genera imagini 3D de înaltă precizie. În fig. 1 este reprezentat principiul formării unei holograme prin interferența laser. Integrarea HOE permite crearea de dispozitive compacte și eficiente, optimizate pentru calitate vizuală superioară.

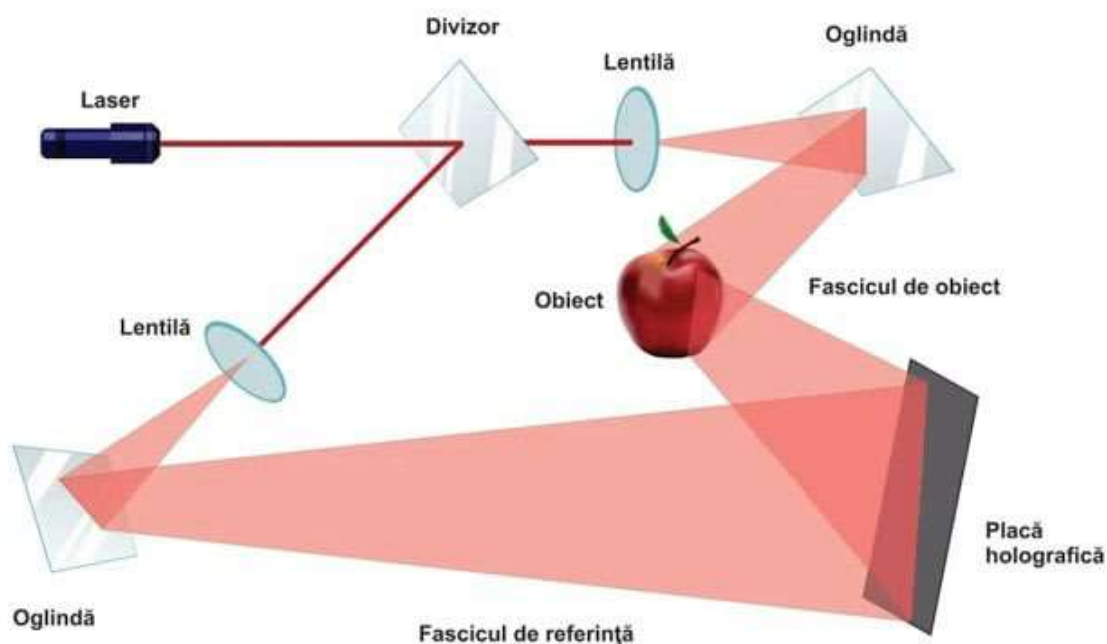


Figura 1. Principiul formării unei holograme prin interferența laser [8]

Concluzii

Optoelectronica reprezintă fundamentul tehnologic al sistemelor de realitate augmentată și virtuală, asigurând baza fizică pentru generarea, manipularea și detectarea luminii în configurații complexe. Evoluția în acest domeniu a permis atingerea parametrilor optici necesari pentru crearea de medii virtuale credibile și a interfețelor augmentate eficiente.

Interacțiunea dintre cerințele specifice ale aplicațiilor AR/VR și capacitățile optoelectronice a condus la dezvoltarea unor structuri și materiale cu proprietăți optice care îndeplinesc constrângerile stricte privind dimensiunile, consumul energetic și calitatea imaginii impuse de dispozitivele wearable (portabile).

În proiectarea optică și producție, VR/AR optimizează sisteme și asistă procese. În medicină, ajută în chirurgie, diagnostic și reabilitare. Industrial, sprijină mentenanța, instruirea și controlul calității. Limitările actuale includ rezoluția și câmpul vizual redus, cerințe mari de procesare, urmărire precisă dificilă, consum ridicat de energie și dimensiuni mari, costurile ridicate fiind un impediment pentru adopția pe scară largă.

Integrarea inteligenței artificiale în VR și AR permite crearea unor medii virtuale dinamice cu adaptare în timp real la comportamentul utilizatorului. Algoritmii de învățare automată pot genera interacțiuni realiste și complexe, sporind imersiunea și realismul. Inteligența artificială îmbunătățește urmărirea mișcărilor, reduce latența și optimizează consumul de energie prin gestionarea eficientă a resurselor.

Referințe:

1. The History of Virtual Worlds. Disponibil online: <https://cs.stanford.edu/people/eroberts/cs181/projects/201011/VirtualWorlds/styled/page1.html> (accesat la 21.03.2025).
2. Virtual Reality. Disponibil online: <https://www.britannica.com/technology/virtual-reality> (accesat la 21.03.2025)
3. Иванова, А.В. Технологии виртуальной и дополненной реальности: возможности и препятствия применения. Disponibil: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-virtualnoy-i-dopolnennoy-realnosti-vozmozhnosti-i-prepyatstviya-primeneniya/viewer> (accesat la 22.03.2025)
4. RGB cameras: Definition, components, and integration. Disponibil Online: <https://www.technexion.com/resources/rgb-cameras/> (accesat la 22.03.2025)
5. Larry Li. Time-of-Flight Camera – An Introduction. Disponibil: <https://www.ti.com/lit/wp/sloa190b/sloa190b.pdf> (accesat 22.03.2025)
6. Aspheric vs. Pancake VR Lenses, and why glass?. Disponibil online: https://pimax.com/blogs/blogs/aspheric-vs-pancake-vr-lenses-and-why-glass?srsId=AfmBOoo4zZJX-AMrEbiYH3UMi-Zy9fHHzNKqx8-NntgcZsv4h3Bw7ot2%22%20t%20%22_blank (accesat 23.03.2025)
7. Understanding Field of View (FOV) and Angular Field of View (AFOV) in Camera Lenses. Disponibil online: <https://avantierinc.com/resources/knowledge-center/understanding-field-of-view-fov-and-angular-field-of-view-afov-in-camera-lenses/> (accesat 23.03.2025)
8. Hologramele. Disponibil online: <https://www.eltronis.com/articole/holograme-ce-sunt-ele-si-cum-se-produc/?lang=ro> (accesat 23.03.2025)

IMPACTUL INVESTIȚIILOR ÎN INFRASTRUCTURA DE TELECOMUNICAȚII ASUPRA ECONOMIEI NAȚIONALE

Ariana ȚENU

¹Telecomunicații și Sisteme Electronice, IMTC-221, Facultatea Electronică și Telecomunicații, Universitatea
Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

Autor corespondent: Ariana Țenu, ariana.tenu@tse.utm.md

Îndrumător/coordonator științific: **Serafima SOROCHIN**, asistent universitar, Departamentul Tehnologii
și Sisteme Electronice, Facultatea Electronică și Telecomunicații, Universitatea Tehnică a Moldovei,
Chișinău, Republica Moldova

Rezumat. Studiul elaborat are drept scop cuantificarea impactului investițiilor în infrastructura de telecomunicații asupra performanței economice a Republicii Moldova. Totodată, analiza propusă examinează necesitatea și importanța alocării în rețele de comunicații electronice fixe și mobile, în strânsă concordanță cu principalii indicatori macroeconomici. Un element definitoriu al cercetării este modul prin care investițiile publice și private contribuie la sporirea concurenței economice. Valorile și statisticile reprezentate mai jos sunt furnizate de către Biroul Național de Statistică și în urma analizării datelor, se deduce impactul pozitiv al infrastructurii telecomunicațiilor asupra PIB-ului național. De asemenea, se compară datele colectate din Republica Moldova cu cele ale altor state europene din învecinătatea sa și nu doar, aflate la diferite niveluri de dezvoltare economică și digitală. Totodată, consolidarea infrastructurii telecomunicațiilor reprezintă o prioritate la nivel național, dar și mondial, care este în strânsă concordanță cu toate domeniile vieții și de ea depinde dezvoltarea sustenabilă a Republicii Moldova.

Cuvinte cheie: infrastructură digitală, telecomunicații, investiții publice, parteneriate, dezvoltare economică

Introducere

În era digitalizării și a globalizării accelerate a economiei, infrastructura telecomunicațiilor reprezintă atât un pilon tehnologic, cât și o piesă de puzzle esențială dezvoltării economice sustenabile. Expansiunea și avansarea rețelelor de comunicații electronice (rețele mobile 4G/5G, infrastructura cloud, centre de date) valorifică o metamorfoză unică pentru eficiența și inovarea sectoarelor economice strategice.

Investițiile în domeniul telecomunicațiilor, în special, dezvoltarea infrastructurii funcționează ca un stimulent de progres global în tendința digitalizării economice, accelerând procesul de automatizare, dezvoltarea inteligenței artificiale, integrarea tehnologiilor IoT (Internet of Things) și altele. Repercusiunile acestor investiții se extind dincolo de frontierele sectorului tehnologiilor informaționale și al comunicațiilor, proliferându-se în alte domenii ale vieții, precum agricultură, industrie, educație, sănătate, comerț și altele, inducând schimbări semnificative asupra PIB-ului, nivelul calității vieții și a ocupării forței de muncă.

În acest cadru specific, monitorizarea și analiza impactului economic al investițiilor în infrastructura de telecomunicații capătă forme extrem de importante pentru crearea strategiilor publice actualizate, centrate pe un progres sustenabil, echitate în sectorul digital și integrare socială.

Contribuția substanțială a sectorului telecomunicațiilor la PIB-ul total

În urma informației oficiale oferite de BNS, sectorul telecomunicațiilor este în continuare creștere, aceasta fiind la un nivel mai avansat decât economia la general. Impactul acestui

domeniu, conform datelor, accentuează faptul că a avut o contribuție pozitivă asupra productivității muncii în mai multe domenii, de exemplu băncile comerciale.

Realizând o comparație dintre Republica Moldova și standardele internaționale (media europeană a ponderii domeniului telecomunicațiilor în PIB reprezintă 4,5%) [1], țara noastră ocupă o proporție considerabilă în sectorul TIC din PIB-ul total. În contextul creșterii rapide al tranzacțiilor externe de mărfuri și servicii TIC, ponderea substanțială a sectorului PIB, poate fi considerată un semn pozitiv, marcând o rată crescută de competitivitate a acestui sector în antiteză cu celelalte sectoare ale economiei naționale.

În 2023, sectorul TIC din Republica Moldova și-a mărit de 3 ori ponderea în PIB comparativ cu anul 2015 (Tab. 1). Acest lucru a fost posibil datorită companiilor rezidente Moldova Innovation Technology Park (MITP) [2]. Conform experților, liderilor de industrie și investitorilor întruniți la evenimentul SUM IT UP, rezidenții MITP, adică companiile care beneficiază de facilități favorabile de a implementa activități în domeniul tehnologiilor informaționale, sunt creierul ce pune în mișcare această creștere avansată, contribuind, astfel, cu 80% la întreaga infrastructură în telecomunicații. În prezent în posesia MITP sunt peste 2000 de companii, marcând o creștere de 7 ori mai mare în ultimii 6 ani. Dintre 1606 companii create de la lansarea MITP, 178 sunt companii ale căror investitori sunt din 33 țări [2].

Tabelul 1

Aportul domeniului TIC la creșterea PIB-ul în perioada 2018-2023 (%) [6]

Anul	Sectorul TIC	Rezidenții MITP
2019	3,2	1,8
2020	3,7	2,5
2021	4,2	2,8
2022	5	3,7
2023	5,1	4,2
2024	5,9	5

România și Ucraina sunt țările ce se situează pe primele locuri în clasamentul (figura 1) în ceea ce privește numărul de investitori atrași de condiții fiscale favorabile oferit de Moldova Innovation Technology Park. Companiile țărilor vecine au început după 2022 să-și orienteze activitate către țara noastră, din cauza conflictelor politice în Ucraina și a celor birocratice în România, astfel Moldova devenind o țară sigură pentru investitorii care vor să contribuie considerabil în sectorul Telecomunicațiilor, iar funcționarea Parcului IT până în 2037 și mărirea perioadei de valabilitate a garanției guvernamentale până în 2035 le oferă investitorilor un nivel sporit de încredere și motivația necesară de a investi aici.



Figura. 1. Top 7 țări investitoare în Republica Moldova [2]

Numărul companiilor rezidente MITP s-a mărit de la 338 în anul 2018 până la 2000 în prezent. Cifra acestora de afacere este de aproximativ 12,56 mlrd lei, dintre care 42 % reprezintă capitalul străin și 58% - local [6] (tab. 3).

Tabelul 2

Evoluția cifrei de afaceri în sectorul Telecomunicațiilor în 2019-2023 (miliarde lei)

Anul	Cifra de vânzări	Creștere
2018	1,9	
2019	3,65	+92%
2020	5	+37%
2021	6,85	+37%
2022	10,17	+48,5%
2023	12,56	+23,5%

Moldova, lider regional în sectorul Telecomunicațiilor

Până la sfârșitul anului 2024 veniturile rezidenților MITP, au ajuns până la 800 de milioane de euro, iar în 2023, 62% din companiile rezidente au confirmat că veniturile lor comparative cu ceilalți ani au crescut. Tot în acest an, țara noastră devine lider regional pe creșterea exporturilor de servicii din domeniul telecomunicațiilor, comparativ cu anul 2015, exportul crescând de zeci de ori, astfel clasificându-se în fața țărilor fruntașe precum Ucraina, România, Estonia, Letonia [5].

Dezvoltarea acestui domeniu și investițiile substanțiale în inovație, au creat și foarte multe locuri de muncă [6] (Tab. 2). La etapa actuală în Republica Moldova sunt peste 30000 angajați în sectorul TIC, acest lucru constituind 4,5% din numărul total de angajați ai țării [3], Moldova ocupând, astfel, locul 2 după Estonia. De asemenea, specialiștii acestui domeniu primesc cele mai mari salarii din economie, contribuind excepțional la dezvoltarea economică a țării, salariul mediu lunar în 2024 fiind de 2280 euro (figura 3) [4]. Conform datelor oferite de Serviciul Fiscal de Stat, în 2023 rezidenții MITP au plătit în total impozite de 1,3 mlrd lei, dintre care 77% reflectă impozitul unic pe angajat în valoare de 1,015 mlrd lei [6]. În anul 2024, sectorul Telecomunicațiilor a continuat să crească și să se dezvolte organic, iar contribuția acestuia asupra PIB-ului a fost de peste 12%.

Tabelul 3

Creșterea angajaților în cadrul companiilor rezidente MITP în perioada 2018-2023

Anul	Număr de persoane	Creștere
2018	6744	
2019	9706	+44%
2020	12024	+24%
2021	15176	+26,2%
2022	18783	+23,8%
2023	21182	+25.8%

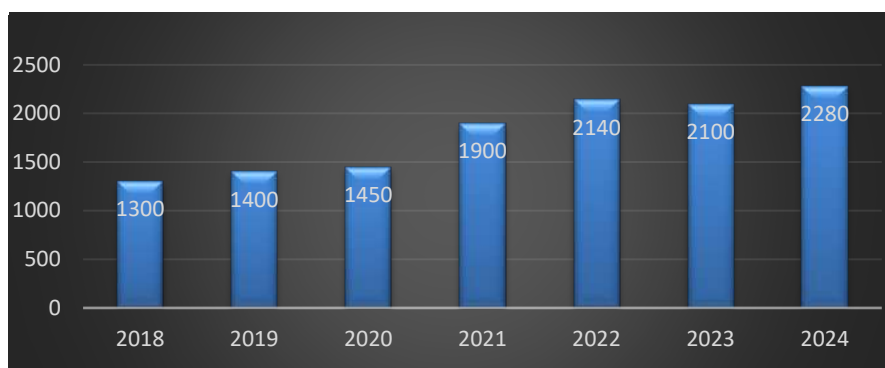


Figura 2. Salariul mediu lunar (în euro) per angajat din domeniul TIC din 2018-2024

Extinderea infrastructurii digitale

Republica Moldova a dobândit un nivel foarte mare de acoperire a rețelei 4G, adică 98% din toată suprafața țării dispune de rețea 4G. Această extindere considerabilă clasifică Moldova în topul transformării digitale din regiune și contribuie esențial la începutul unei dezvoltări digitale de amploare [7]. Mai mult de atât, revitalizarea urbană este un concept cheie în majoritatea orașelor, având drept scop facilitarea vieții oamenilor și a calității acestora din punct de vedere al digitalizării. Pe lângă internetul de viteză mare mai accesibil, dezvoltatorii tind să extindă și rețelele de telecomunicații bazate pe tehnologii inovatoare de producere și funcționare care oferă posibilitatea unei utilizări mai propice a resurselor din zona orașelor. Drept exemplu este chiar Chișinău, care de câțiva ani se lucrează pentru a deveni unul dintre cele mai digitalizate orașe. Dezvoltarea lui se menține pe o rețea digital solidă și pe tehnologii avansate, cum ar fi senzori IoT care monitorizează calitatea aerului, dar și aplicații care te informează despre locația mijloacelor de transport public și timpul estimate de sosire (Tranzzy).

Provocările extinderii și dezvoltării sectorului de Telecomunicații

Digitalizarea tuturor orașelor reprezintă un proces destul de greu și divers, iar din acest motiv multe dintre zonele urbane se confruntă cu probleme de digitalizare. Unele zone ale țării întâmpină dificultăți la implementarea acestor tehnologii de modernizare cauzate de absența infrastructurii de bază și resurselor financiare scăzute. De asemenea, multe dintre orașele țării, din cauză că nu dispun de o dezvoltare economică, fonduri suficiente și digitalizare înaltă sunt predispuse mai mult la poluarea și la implementarea a unor metode de viață costisitoare din mai multe puncta de vedere, cum ar fi transportul public încă pe combustibil, când poate fi înlocuit cu transport ecologic. Astfel s-ar reduce și costurile, dar și emisiile de carbon [8].

Concluzii

În finalitate, investițiile de capital străin, dar și cele naționale în infrastructura de telecomunicații din Republica Moldova accentuează un impact de mare amploare asupra economiei țării. Acest sector a devenit pe parcursul ultimilor 7 ani un pilon esențial în digitalizare și a concurenței economice, poziționând Republica Moldova în topul liderilor regionale. Cu susținerea companiilor rezidente Moldova Innovation Technology Park, domeniul Tic a generat sume uriașe de bani, contribuind activ la PIB-ul țării, crearea locurilor de muncă, dotarea instituțiilor de învățământ cu tehnică avansată și multor regiuni din Moldova încă nedezvoltate din acest punct de vedere.

Dezvoltarea sectorului de telecomunicații a fost și continuă să rămână într-o proporționalitate directă și cu celelalte domenii ale vieții, precum: industrie, agricultură, învățământ, medicină, etc. Din acest motiv investițiile de bani și resurse în acest domeniu sunt o necesitate și constituie un avantaj esențial în facilitarea activităților umane.

Bibliografie

1. https://ict.md/wp-content/uploads/publication/ICT_ro.pdf
2. <https://diez.md/2024/09/20/sectorul-it-si-a-triplat-contributia-la-pib-ul-moldovei-descopera-cele-mai-noi-cifre-prezentate-la-sum-it-up6-global-connect/>
3. <https://ybp.md/ro/article/castigul-salarial-mediul-lunar-brut-in-republica-moldova-a-crescut-cu-12-1-in-trimestrul-iv>
4. <https://moldova1.md/p/39912>
5. <https://newsmaker.md/ro/moldova-hub-regional-tehnologic-in-plina-ascensiune-afla-noile-statistici-mitp-si-analiza-completa>
6. <https://lexecon.md/arhive/economie/dinamica-sectorului-it-perspective-de-dezvoltare/>
7. <https://www.proiectari.md/servicii-de-digitalizare-infrastructura-in-moldova-transformarea-digitala-pentru-viitorul-tarii/>
8. GAVRILĂ, I.; NIȚESCU, D.; TĂNASE GHIȚĂ, P.; POPESCU, C.; *Economie, Editura: Economică preuniversitară.*

Quantum Key Distribution: Securing the Future of Telecom

Taisia SEPELEVICI

*Departamentul Telecomunicatii, grupa SCE-241, Facultatea Electronica si Telecomunicatii,
UTM, Chisinau, Moldova*

Autorul corespondent: Taisia Sepelevici, taisia.sepelevici@tse.utm.md

Tutor/coordinator: **Lilia PORUBIN**, university lecturer, PhD, Technical University of Moldova

Abstract. *This article examines Quantum Key Distribution (QKD) as a key technology for secure communication in the quantum era. It explains how QKD enables two users to share a secret key using quantum states, ensuring that any interception is immediately detected. The paper compares main QKD protocols (BB84, E91, and Decoy-State) and highlights real-life applications such as the Micius satellite and Euro QCI project. While QKD offers strong security advantages, it faces challenges like high costs and limited range. Future developments and integration with post-quantum cryptography will improve its scalability and effectiveness.*

Introduction

Modern encryption relies on complex mathematical problems like factoring (RSA) and elliptic curves (ECC). Therefore, Quantum algorithms, especially Shors algorithm, can rapidly identify and solve these difficulties. In the following article I will be providing a summarized information on the early specified topic.

1. QKD definition, execution process its real-life implementations

QKD gives the ability for the two users to generate a shared secret key using quantum states. If an eavesdropper tries to intercept, the quantum state is disturbed and the intrusion is detected [1]. The process includes quantum channel communication (photons) and a public classical channel for key sifting.

Table 1

Global organizations are already deploying QKD

Project	Country	Application
Micius Satellite	China	Space based QKD
Euro QCI	The EU	Continental Quantum Communications
BT-Toshiba	The UK	Financial sector QKD trials
SK Telecom	South Korea	QKD integrated with 5G networks

The execution process of the QKD technology is divided between four steps, therefore I will introduce an example in order to better explain the subject [2]:

Step 1: Alice sends photons polarized in random bases.

Step 2: Bob measures incoming photons using random bases.

Step 3: Alice and Bob publicly compare bases, keep only matched ones.

Step 4: They perform error-checking and privacy amplification to finalize a secure key.

2. QKD Protocol Comparison

QKD protocols key differences

Protocol	Basis Used	Key Methods	Security Feature
BB84	Two bases	Polarization	Simple and proven
E91	Entangled photons	Correlation measurement	Based on quantum entanglement
Decoy – State	Mixed signals	Photon number monitoring	Prevents photon-splitting attacks

3. QKD advantages, disadvantages, and future predictions

QKD offers unmatched advantages: physical-layer security, instant eavesdropping detection, and perfect forward secrecy [3]. However, its deployment is challenged by high costs, limited range, and the need to modernize existing infrastructure [4], [5]. Future developments, including quantum repeaters and integration with post-quantum cryptography, promise to overcome these barriers.

Conclusion

QKD is a progressive solution to consolidate secure communication in the quantum era. It fosters the idea of the provable security by detecting any interception attempts. Despite current negative aspects, which can appear as obstacles or limitations, it is already being adopted in critical infrastructures. A combined approach with classical, well researched and timely proven security and QKD will define the future of telecom security.

Bibliography

1. Bennett, C. H.; Brassard, G. (1984). *Quantum cryptography: Public key distribution and coin tossing*. Proceedings of IEEE International Conference on Computers, Systems and Signal Processing, Bangalore, India, 175–179.
2. Gisin, N.; Ribordy, G.; Tittel, W.; Zbinden, H. (2002). *Quantum cryptography. Reviews of Modern Physics*, 74(1), 145–195. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.74.145>
3. Pirandola, S.; Andersen, U. L.; Banchi, L.; Berta, M.; Bunandar, D.; Colbeck, R., ... & Wallden, P. (2020). *Advances in quantum cryptography. Advances in Optics and Photonics*, 12(4), 1012–1236. <https://doi.org/10.1364/AOP.361502>
4. Porubin, L.; Caterenciuc, S. English for Electronics and Telecommunication Engineering, Chisinau, „Tehnica-UTM”, 2025, ISBN 978-9975-64-502-7
5. Porubin, L. Humanizing digital Learning: Strategies for Amplifying educational Impact. In: *Intertext*, 2023, nr. 2(62), pp. 67-74. ISSN 1857-3711. DOI: <https://doi.org/10.54481/intertext.2023.2.07>

BEYOND WI-FI: HOW LI-FI IS TRANSFORMING WIRELESS CONNECTIVITY

Valeria CHIRILIUC

Department of Telecommunications and Electronic Systems, group TSRC-241, Faculty of Electronics and Telecommunications, Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova

Corresponding author: Valeria CHIRILIUC, email: valeria.chiriliuc@tse.utm.md

Tutor/coordinator: **Lilia PORUBIN**, university lecturer ,PhD, Technical University of Moldova

Abstract. *Professor Harald Haas began his research into VLC (visible light communication) technology, thus paving a way for Li-Fi (light fidelity) technology. This article aims to briefly review the history of Li-Fi and to examine how the usage of electromagnetic waves differs from the radio waves used in Wi-Fi. The study also explores the core mechanisms behind Li-Fi technology, which uses bulbs equipped with a light-emitting diode (LED) and a modulation chip that can transmit the information to photodetectors located in the receiver's devices for data reception. Furthermore, there are identified the key performance indicators and constraints of current Li-Fi systems. Notably, the results highlight Li-Fi's capability to achieve extremely high data rates, improved security, and resistance to electromagnetic interference. This makes it more suitable for environments where radio waves can't penetrate and where security is essential. However, drawbacks, such as limited area coverage and vulnerability to light obstructions remain important, especially when considering this technology as an alternative to Wi-Fi, as this would require a complete replacement of existing Wi-Fi-based infrastructure. Therefore, Li-Fi can serve as a complementary solution alongside existing Wi-Fi. Also, the integration of Li-Fi in current wireless systems can contribute to a more efficient and secure connectivity ecosystem.*

Keywords: *Li-Fi, light-emitting diode, wireless communication, technology, radio wave.*

Introduction

There are billions of connected devices being used every single day, including smartphones that became an inseparable part of our lives. In fact, this number is even bigger than the number of the entire population of the planet. This has led to a significant congestion in the radio spectrum frequency. [1], RF congestion refers to the overcrowding of radio frequencies used for wireless communications. .../As the number of devices using the same frequency band grows, interference increases, leading to a congested RF environment, and a rising noise floor. When this occurs, devices experience reduced performance at distance, with lower signal-to-noise ratio, higher data error rates, and potentially complete loss of connectivity, resulting in dropouts.

Another big problem that is caused especially by mobile networks is energy consumption. For example, only about 15% of the total energy is used for actual data transmission, while approximately 85% is lost due to heat in power amplifiers, devices that stay on when no data is sent and inefficient systems like batteries and cooling systems. Additionally, radio base stations, used by mobile networks, are still diesel powered.

Therefore, in a global context of an ever-growing volume of transmitted data through the radio spectrum and an increasing demand for energy-efficient wireless communication, there is a need for alternative solutions to traditional Wi-Fi.

Accordingly, Li-Fi technology, based on VLC (Visible Light Communication), represents a new way of wireless communication that uses visible light [2].

Understanding Li-Fi

Li-Fi stands for Light Fidelity.

The term “Li-Fi” was coined for the first time by Harald Haas, a pioneer in the field of optical wireless communication. He presented this innovative technology during a TED (Technology, Entertainment, Design) Global Talk, in 2011. In his demonstration, Haas used a lamp, which acted as a transmitter, sending data to the receiver. The receiver captured rapid variations in light, and a HD video of blooming flowers was being projected on the screen behind him [3].

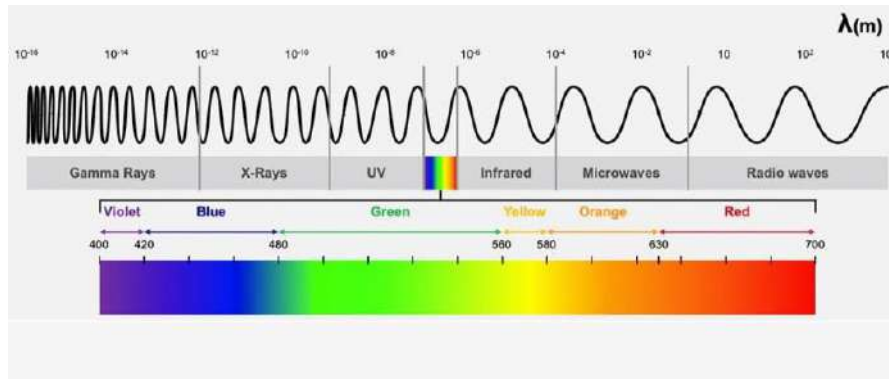


Figure 1. Visible Light Spectrum

Li-Fi technology operates within the spectrum between ultraviolet (UV) and Infrared (IR). It uses the visible light spectrum (Fig.1) that includes frequencies ranging from 400 THz (corresponds to the wavelength of 780 nm, red light) to 800 THz (with the wavelength of 380 nm, violet light). This range consists of electromagnetic waves that has high enough frequency to support ultra-fast data transmission.

Additionally, it should be mentioned that visible light is completely safe for human exposure. It is a part of electromagnetic spectrum that does not have enough energy to remove electrons from atoms and molecules of material, while radio waves, used by Wi-Fi, can affect human health [4].

RF fields do not ionise cell genome or damage cells and tissues in any direct way, but research indicates that they affect living organisms via thermal effects (tissue heating) and non-thermal effects such as vibration and rotation of molecules (especially those that have an asymmetric charge or that are polar in structure), oxidative stress, genetic damage, or altered cell membrane permeability. [5]

The architecture of Li-Fi

In general terms, the main components of the simplest Li-Fi system may contain :

1. A high brightness LED (light-emitting diode) that acts as a transmitter
2. A photodetector with good response to visible light

LEDs can flicker thousands of times per second, which human eye cannot detect. The data transmitted through the light is encoded in binary format using subtle variations in brightness: when the light is dim, a binary “0” is transmitted; but when it’s bright, a binary ‘1’ is transmitted. This data is received by a device (it can be a computer, a tablet, etc.), which is located in the coverage area of the light and is equipped with a photodetector (PD). This PD captures the light signals and converts it back into original data (Fig.2).

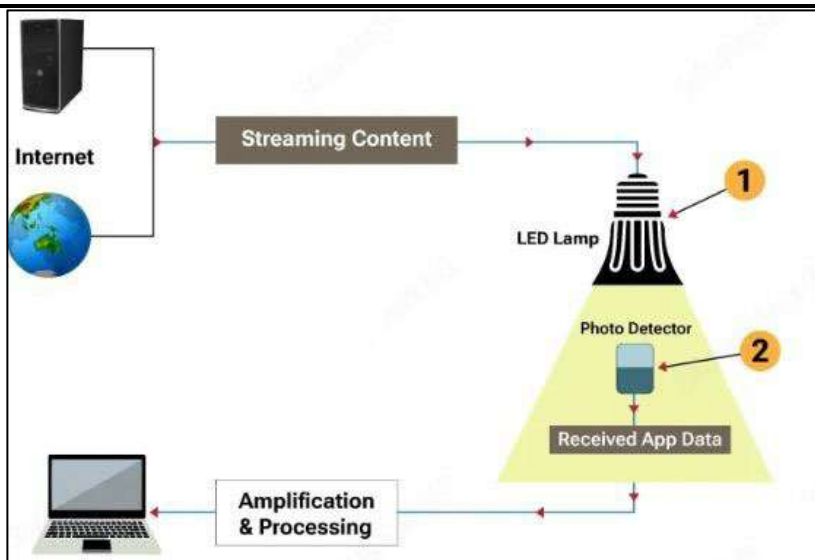


Figure 2. Li-Fi working diagram

The LiFi systems at the most fundamental level consist of LED transmitters that employ the principle of intensity modulation to convert the incoming electrical signal to information before transmission through the optical channel. The LED transmitter can register new users and serve multiple users over the same optical channel thus forming a LiFi access point (AP). The receivers are equipped with photodetectors (PD), which convert the falling light to optical current [6]. Many of the modern receivers are mobile and equipped with the necessary hardware to model the mobility aspect of the LiFi system and analyze its effect on receiver gain. From the receiver gain and the channel, an accurate error assessment can be made for packet reception [6].

Key features of Li-Fi

The Li-Fi technology offers numerous benefits and could play an important role in what regards to a faster and more secure digital environment. It represents a real breakthrough in modern wireless communication, due to its main advantages:

1. Security:

LiFi is wireless communications that provide military-grade security by default. Light does not penetrate walls or leak through material such as canvas or curtains therefore can be contained in a space eliminating the ability for man-in-the-middle attacks outside a cone of coverage or room. LiFi provides users with the privacy and security that all modern personal and professional networks require [7].

2. Speed

Its transmission speed would be much higher than that of Wifi transmissions. As already mentioned, it would move in the range of 10 to 20 Gbps, and maybe even more (in some tests it has even reached 224 Gbps) [8].

3. Interference-free

Wi-Fi signals can experience interference from various sources, including electronic devices operating at the same frequency, neighbouring Wi-Fi networks, and physical obstacles. In contrast, Li-Fi signals may experience interference from other light sources, including sunlight and indoor lighting, affecting signal quality and reliability [9, 10].

Nevertheless, despite having a lot of advantages compared to Wi-Fi, the Li-Fi technology comes with a number of disadvantages too. Among them are limited area coverage, no transmission through opaque obstacles, working with receiver-equipped devices, etc.

Conclusion

Li-Fi is an innovative and highly promising wireless communication technology that offers very high speeds of data transmission and improved security. Also, this is an energy-efficient and low-cost technology, that doesn't require so much energy like Wi-Fi.

On the one hand, as it operates on the visible light spectrum, the Li-Fi has the potential to overcome some of the limitations of the radio frequency-based Wi-Fi, especially in environments where the radio waves cannot penetrate. On the other hand, it has many limitations too.

However, because of the widespread use of LED bulbs, it can be affirmed that a part of needed infrastructure for Li-Fi already exists. In this context, Li-Fi should be seen not as a replacement for existing Wi-Fi-based infrastructure but rather as a complementary solution, which can significantly enhance modern wireless communication.

Bibliography

1. AntennaWare. Available online : <https://antennaware.com/resources/blog/rf-congestion-explanation-and-solutions> (accessed on May 10, 2025)
2. PRLIĆ, I.; ŠIŠKO., J. Wi-Fi technology and human health impact: a brief review of current knowledge. *Arh Hig Rada Toksikol* 2022, Vol 73(2), 94-106, doi: 10.2478/aiht-2022-73- 3402
3. PORUBIN, L.; JECHIU, A. English for Power and Electrical Engineering Students, Chisinau, „Tehnica-UTM”, 2022, ISBN 978-9975-45-787-3
4. CATERENCIUC, S. Despre terminologie și nomenclatură . In: *Материалы*
5. *Международной научно-практической интернет-конференции „Тенденции и перспективы развития науки и образования в условиях глобализации”*: Сб. науч. трудов., Украина, Переяслав-Хмельницкий, 2019, 543-545 p.
6. CATERENCIUC, S. Linguistic and terminological units: word, term, concept. In: *Journal of Social Sciences*, B+, Publishing House „Tehnica UTM”, Chișinău ,Vol 1, nr1 (2018), pp. 17-19, 0,25 c.a., ISSN 2587-3490, eISSN 2587-3504.
7. PORUBIN, L.; CATERENCIUC, S. English for Electronics and Telecommunication Engineering: manual, Chișinău, Editura „Tehnica-UTM”, 2025, ISBN 978-9975-64-502-7
8. ULLAH, S.; REHMAN, S.U.;CHONG, P.H.J. AComprehensive Open-Source Simulation Framework for LiFi Communication.*Sensors* 2021, Vol 21 (7), 2485, doi, <https://doi.org/10.3390/s21072485>
9. PureLiFi. Available online: <https://www.purelifi.com/about-lifi/> (accessed on May 21, 2025)
10. Pandorafms. Available online : <https://pandorafms.com/blog/what-is-lifi/> (accessed on May 22,2025)
11. Excitel. Available online: <https://www.excitel.com/blogs/li-fi-vs-wi-fi-understanding-the-key-differences/#:~:text=Wi-Fi%20offers%20lower%20data,as%20it%20uses%20light%20waves.> (accessed on May 22,2025)

MANAGEMENTUL RESURSELOR UMANE ÎN ECHIBE MULTICULTURALE ÎN TELECOMUNICAȚII

Nelea MANIN

TSE, IMTC-231, FET, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Moldova

Îndrumătorul/coordonatorul științific: **Lilia SAVA**, conf. univ., dr., FET

Rezumat. *Lucrarea de față explorează importanța managementului echipelor multiculturale în sectorul telecomunicațiilor, un domeniu esențial în economia globalizată, caracterizat prin inovație rapidă și echipe internaționale. Studiul evidențiază impactul pozitiv al diversității culturale asupra performanței organizaționale, inovației și adaptabilității la piețele internaționale, precum și provocările specifice acestui context, precum diferențele de comunicare, valori culturale și fusuri orare. Metodologia cercetării este de tip calitativ, bazată pe analiză de studii de caz din industrie și surse secundare relevante, completată de o analiză comparativă a bunelor practici implementate de companii multinaționale. Rezultatele indică faptul că diversitatea culturală, dacă este gestionată eficient, devine un catalizator al inovației și competitivității, în timp ce lipsa competențelor de leadership intercultural poate conduce la conflicte și scăderea performanței echipei. Lucrarea aduce o contribuție originală prin formularea unor recomandări specifice pentru managerii din telecomunicații, în vederea dezvoltării unor strategii adaptate de integrare a diversității și optimizare a colaborării internaționale. Concluziile subliniază necesitatea formării continue în management intercultural și adoptarea unor modele organizaționale flexibile și incluzive, care valorifică pe deplin potențialul echipelor multiculturale.*

Cuvinte cheie: *echipe multiculturale, diversitatea culturală, telecomunicații, management intercultural, colaborare internațională, inovație organizațională*

Introducere

Sectorul telecomunicațiilor se află într-o continuă expansiune și transformare, având un rol fundamental în dezvoltarea economiilor naționale și internaționale. În acest context, resursele umane reprezintă principalul capital strategic al organizațiilor, fiind esențiale pentru atingerea obiectivelor strategice [1]. În mod particular, echipele multiculturale, caracteristice acestui sector, aduc o diversitate de perspective și abilități, contribuind semnificativ la inovație și adaptabilitate.

Cu toate acestea, gestionarea eficientă a echipelor multiculturale în telecomunicații presupune depășirea unor provocări specifice, precum diferențele în stilurile de comunicare, valori culturale și fusuri orare [5]. Pentru a valorifica potențialul acestor echipe, organizațiile trebuie să adopte strategii de management intercultural care includ:

- Dezvoltarea abilităților de comunicare interculturală prin sesiuni de formare și activități de team building, membrii echipei învățând să înțeleagă și să aprecieze diferențele culturale, îmbunătățind colaborarea și reducând conflictele.
- Stabilirea unor obiective clare și comune prin definirea unor scopuri comune și a unor valori organizaționale incluzive asigură alinierea echipei și coeziunea acesteia, facilitând atingerea performanței dorite.
- Promovarea unui leadership adaptiv și empatic astfel acceptând diversitatea culturală și să adopte un stil de conducere care să sprijine incluziunea și respectul reciproc.

Prin implementarea acestor strategii, organizațiile din sectorul telecomunicațiilor pot transforma diversitatea culturală într-un avantaj competitiv, stimulând inovația și eficiența

operațională. Astfel, managementul resurselor umane în echipe multiculturale devine un factor esențial pentru succesul și sustenabilitatea organizațională.

Beneficiile diversității culturale

La modul general, managementul resurselor umane (MRU) reprezintă un ansamblu de activități, realizate la nivel organizațional, și care permite folosirea cât mai eficientă a oamenilor, angajați ai respectivei autorități, pentru a atinge scopurile generale organizaționale [1]. Echipele multiculturale sunt spații în care se reunesc seturi de competențe unice, creând un fond amplu de cunoștințe și de expertiză [5]. Gestionarea echipelor multiculturale în mediul de afaceri reprezintă o provocare semnificativă pentru organizații.

În contextul telecomunicațiilor, echipele multiculturale reprezintă o gamă largă de perspective, abilități, surse de idei noi și creative ce contribuie semnificativ la crearea de produse și soluții mai inovative care răspund cerințelor pieței internaționale. Ele oferă o înțelegere mai profundă a piețelor globale și facilitează expansiunea internațională a afacerilor. În tabelul 1 sunt reflectate Beneficiile diversității culturale în telecomunicații.

Tabelul 1

Beneficiile diversității culturale în telecomunicații

Beneficiu principal	Surse relevante
Performanță financiară îmbunătățită	McKinsey: companiile cu diversitate culturală în topul ierarhic au cu 36% mai multe șanse să aibă profituri peste medie
Inovație crescută	McKinsey: echipele diverse sunt cu 72% mai predispuse să îmbunătățească procesele și cu 77% mai deschise la feedback extern
Colaborare și partajare a ideilor	McKinsey: angajații din companii diverse sunt cu 62% mai înclinați să colaboreze și cu 64% mai dispuși să împărtășească bune practici
Satisfacție și retenție mai mare	BCG: mediile de lucru incluzive reduc riscul de turnover cu 50%, iar satisfacția angajaților crește cu 31%
Reputație corporativă consolidată	Women in Tech Network: companiile care promovează diversitatea au o reputație mai puternică și atrag mai ușor talente diverse

Elaborat de autor în baza [3; 8]

Avantajele și impactul diversității resurselor umane

Echipele formate din membri cu origini culturale și educaționale diverse pot aduce idei inovative care ar putea să nu fie evidente într-o echipă omogenă. Această diversitate de gândire contribuie la un proces de brainstorming mai puternic și la crearea unor soluții tehnice mai sofisticate. În plus, diversitatea culturală permite echipelor să abordeze probleme complexe din perspective diferite. De exemplu, dezvoltarea rețelelor 5G reprezintă rezultatul unei munci intense a companiilor cu grupe diversificate. Acestea sunt Qualcomm, MediaTek, Intel, Samsung, Huawei, etc. Care dezvoltă componente importante ce permit dispozitivelor (telefoane, router, etc.) să facă legătura cu rețelele 5G.

Un exemplu de succes în acest sens poate fi observat în compania Ericsson, care a reușit să dezvolte soluții de telecomunicații adaptate pieței din Asia de Sud-Est prin colaborarea strânsă a echipelor multiculturale. Aceasta a permis companiei să creeze produse care răspund nevoilor specifice ale utilizatorilor din diverse regiuni ale lumii, consolidându-și astfel poziția pe piața globală.

Astfel, diversitatea culturală nu doar că îmbogățește procesul de dezvoltare a produselor, dar ajută și organizațiile să se conecteze mai profund cu clienții lor, să înțeleagă mai bine cerințele piețelor internaționale și să își optimizeze oferta de servicii pentru a răspunde diverselor așteptări.

Provocările managementului echipelor multiculturale

Organizațiile care nu sunt capabile să gestioneze diferențele resurselor umane la nivel cultural riscă să piardă locuri valoroase pe piața globală. Efectele negative ale acestui fenomen includ:

- Diferențele de stiluri de comunicare – pot apărea nu doar între culturi, dar și între generații, statut profesional sau preferințe individuale, astfel afectând interacțiunile din echipă;
- Problemele legate de diferențele de fus orar - influențează negativ colaborarea în cadrul echipelor. Multe companii din sectorul telecomunicațiilor operează la scară globală, având echipe situate în locații geografic îndepărtate. Aceste diferențe de fus orar pot face programarea întâlnirilor dificile. De exemplu, atunci când echipele din Europa, Asia și America trebuie să participe la o întâlnire comună, este posibil ca unii membri ai echipei să fie nevoiți să participe la ore neobișnuite, ceea ce poate duce la oboseală, scăderea eficienței și diminuarea calității discuțiilor.
- Impactul valorilor și normelor culturale - acestea influențează stilul de muncă, abordările în procesul decizional și interacțiunile de zi cu zi. De exemplu, un angajat dintr-o cultură mai egalitară poate percepe tăcerea unui coleg dintr-o cultură ierarhică ca fiind lipsă de interes sau de implicare, ceea ce poate duce la frustrări.

Este important ca companiile să acorde atenție gestionării echipelor multiculturale și să investească în dezvoltarea competențelor necesare pentru a face față acestor provocări [5].

Abordări din sectorul telecomunicațiilor

Politica de formare profesională a angajaților trebuie să fie integrată într-un ansamblu coerent de politici privind gestionarea resurselor umane. Aceasta reflectă angajamentul organizației față de dezvoltarea continuă a competențelor profesionale ale personalului, contribuind astfel la îmbunătățirea performanței organizaționale și la creșterea șanselor de avansare în carieră ale angajaților.

Implementarea acestei politici poate urma două abordări: dezvoltarea internă a personalului prin programe proprii de formare sau externalizarea instruirii către furnizori specializați [1; 2]. Fiecare metodă prezintă avantaje și riscuri, iar alegerea depinde de strategia organizațională și de specificul activității.

Pentru ca politica de formare să fie eficientă, aceasta trebuie să fie susținută activ de conducerea superioară și să fie aliniată la performanțele profesionale, ținând cont de cerințele impuse de implementarea de noi produse, procese sau tehnologii.

În plus, politica de formare profesională trebuie să includă: direcțiile de formare, stabilirea numărului minim de zile de instruire anuală pentru fiecare categorie de angajați, alocarea procentuală a bugetului organizațional pentru formare și definirea responsabilităților în implementarea activităților de formare, în funcție de dimensiunea organizației [8].

Companiile din sectorul telecomunicațiilor creează un mediu de lucru inclusiv. Managerii implementează politici și practici care promovează acceptarea și respectul față de diversitatea culturală a angajaților. Un exemplu de bună practică poate fi organizarea unor sesiuni de formare interculturală pentru angajați, astfel încât aceștia să învețe cum să colaboreze eficient cu persoane din culturi diferite. Companiile oferă resurselor umane formări continue[1], astfel pregătind angajații să facă față provocărilor care apar într-un mediu multicultural, prin realizarea cursurilor care ajută participanților să înțeleagă diferențele de stiluri de comunicare, să dobândească competențe în utilizarea limbilor străine, să înțeleagă valorile și normele culturale ale colegilor și să învețe cum să negocieze și să colaboreze eficient în cadrul echipelor multiculturale. Un alt element este promovarea unei comunicări deschise și clare. Acesta ajută la prevenirea conflictelor, îmbunătățirea colaborării între echipe și creșterea încrederii între membrii echipei. În orarul de lucru a angajatului se introduc activități de team-building. Aceste

activități pot include jocuri de grup, simulări de situații de muncă sau chiar excursii și evenimente sociale, care permit membrilor echipei să interacționeze într-un cadru informal.

Concluzii

Concluziile studiului evidențiază faptul că managementul eficient al echipelor multiculturale în sectorul telecomunicațiilor poate transforma diversitatea culturală într-un avantaj strategic, stimulând inovația și adaptabilitatea organizațională.

Pentru a valorifica pe deplin potențialul echipelor multiculturale, este esențial ca organizațiile să implementeze strategii de management intercultural care includ: dezvoltarea abilităților de comunicare interculturală, stabilirea unor obiective clare și comune, și promovarea unui leadership adaptiv și empatic.

Astfel, prin abordarea provocărilor specifice și implementarea unor practici de management intercultural eficiente, organizațiile din sectorul telecomunicațiilor pot crea un mediu de lucru inclusiv și performant, capabil să răspundă cerințelor pieței internaționale în continuă schimbare.

Bibliografie

1. SAVA, L.; TÎRȘU, V. The management of professional staff training within economic entities. *Revista Economia Contemporană*. 2023, vol. 8, nr. 1, pp. 113–127. ISSN 2537-4222. Available: <http://www.revec.ro/article-2023-id-105-vol..8.nr..1.html> (1.11 c.a.)
2. SAVA, L.; TÎRȘU, V.; Human capital and sustainable development [online]. *European Journal of Accounting, Finance & Business*. 2022, vol. 10, nr. 2, pp. 90–95. ISSN 2344-102X. DOI: 10.4316/EJAFB.2022.10211. Available: <http://accounting-management.ro/index.php?page=showcontent&issue=29&year=2022> (0.6 c.a.)
3. <https://uspee.md/wp-content/uploads/2017/05/Stefan-Stanciu-Management-Resurse-Umane.pdf>
4. <https://irek.ase.md/xmlui/bitstream/handle/1234567890/744/Managementul%20resurselor%20umane%2C%20Manea%20Natalia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
5. https://eures.europa.eu/rise-multicultural-teams-how-ensure-they-are-successful-2024-04-19_ro
6. <https://uspee.md/wp-content/uploads/2017/05/Stefan-Stanciu-Management-Resurse-Umane.pdf>
7. <https://irek.ase.md/xmlui/bitstream/handle/1234567890/744/Managementul%20resurselor%20umane%2C%20Manea%20Natalia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
8. https://psico-smart.com/en/blogs/blog-diversity-and-inclusion-practices-and-their-effect-on-organizational-performance-12544?utm_source=chatgpt.com
9. https://www.incultures.com/blog/cultural-diversity-research?utm_source=chatgpt.com

ROLUL INGINERIEI SOCIALE ȘI AL VULNERABILITĂȚILOR DIN PROTOCOALELE DE TELECOMUNICAȚII ÎN ATACURILE ASUPRA IDENTITĂȚII MOBILE

Daniela GUȚU

Departamentul Telecomunicații și Sisteme Electronice, IMTC-231, Facultatea Electronică și Telecomunicații,
Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

Autorul corespondent: Daniela Guțu, daniela.gutu@tse.utm.md

Îndrumătorul/coordonatorul științific: **Marius DUMITRAȘCU**, l. univ., FET, UTM.

Rezumat. În lucrare sunt analizate modalitățile prin care ingineria socială și vulnerabilitățile existente în protocoalele de semnalizare utilizate în rețelele mobile – în special SS7 (pentru 2G/3G) și Diameter (pentru 4G/5G) – pot fi exploatate pentru compromiterea identității mobile a utilizatorilor. Este evidențiată interdependența dintre slăbiciunile proceselor umane (cum ar fi validarea identității de către operatori) și cele tehnice (precum lipsa criptării sau autentificării în rețelele de semnalizare). Sunt accentuate atât tehnicile uzuale de inginerie socială, în special atacul de tip SIM Swapping, cât și modul în care vulnerabilitățile din infrastructura de telecomunicații pot facilita accesul neautorizat la serviciile mobile. În final, articolul propune măsuri de protecție împotriva acestui tip de amenințări hibride, în contextul unei dependențe tot mai mari de comunicațiile mobile în procesele de autentificare și securitate digitală.

Cuvinte cheie: comunicații mobile, SS7, Diameter, SIM swapping, autentificare, securitate digitală

Introducere

În era digitală, comunicațiile mobile au devenit fundamentul interacțiunilor sociale, economice și administrative. Serviciile bancare, conturile personale și aplicațiile de autentificare sunt elemente de identificare pe care o persoană le trece prin numărul de telefon mobil. Acest lucru sporește nevoia unei infrastructuri de comunicații securizate și puternice, capabile să protejeze utilizatorii împotriva atacurilor cibernetice din ce în ce mai sofisticate.

O amenințare foarte comună și serioasă la adresa identității mobile a utilizatorilor săi este atacul de tip SIM Swapping. Prin acesta, atacatorul poate deturna numărul de telefon al victimei și apoi îl poate folosi în orice scop, inclusiv obținerea accesului la codurile de autentificare trimise prin SMS sau resetarea parolelor pentru conturile online. Ceea ce face acest lucru mai alarmant este că nu este nevoie să compromiteți direct dispozitivul victimei, ci mai degrabă să păcăliți operatorul de telecomunicații sau să manipulați protocoalele de rețea.

Rolul ingineriei sociale în atacurile SIM Swapping

Ingineria socială este adesea cheia succesului atacurilor SIM Swapping, în special în forma clasică. Tehnici precum phishing, vishing sau pretexting sunt folosite pentru a colecta informațiile personale și a convinge operatorii să furnizeze o nouă cartelă. Phishing-ul se realizează în general prin trimiterea de mesaje false (de obicei e-mailuri sau SMS-uri) care imită surse legitime pentru a convinge utilizatorul să divulge date personale sau să acceseze link-uri rău intenționate. Vishing-ul (voice phishing) constă în apeluri telefonice în care atacatorul se dă drept o autoritate de încredere, ca de exemplu banca sau furnizorul de servicii, pentru a obține informații confidențiale. Pretexting-ul presupune crearea unui scenariu fals (un „pretext”) pentru a convinge victima să ofere date sensibile sau acces la resurse protejate, atacatorul prezentându-se, ca fiind un coleg, operator de suport tehnic sau reprezentant al unei instituții. Lipsa unor

proceduri riguroase de verificare, bazate adesea pe informații relativ ușor de obținut (nume, IDNP, adresă), face ca operatorii de telecomunicații să fie manipulabili.

Cazuri reale arată amploarea fenomenului: infractori au furat milioane de dolari în criptomonede prin SIM Swapping, uneori cu ajutorul angajaților companiilor de telecomunicații [1]. Aceste exemple evidențiază cât de periculoasă este componenta umană în lanțul de securitate mobilă.

Atacul SIM Swapping clasic

Acest tip de atac presupune preluarea controlului unui număr de telefon prin obținerea unei noi cartele SIM. De cele mai multe ori, atacatorii folosesc ingineria socială pentru a se da drept deținătorul contului, oferind informații personale obținute prin phishing sau scurgeri de date. După validarea cererii de schimb SIM de către operator, controlul asupra numărului este transferat către atacator, iar vechea cartelă devine inactivă [2].

SS7 – Signaling System 7

SS7 (Signaling System No. 7) este un set de protocoale de semnalizare utilizate în rețelele de telecomunicații 2G și 3G pentru gestionarea apelurilor, trimiterea mesajelor text și realizarea funcțiilor de roaming. Arhitectura sa este stratificată, iar componentele cheie includ MAP (Mobile Application Part), TCAP (Transaction Capabilities Application Part) și SCCP (Signaling Connection Control Part). Acestea permit schimbul de informații între rețele diferite, inclusiv între operatori mobili din țări diferite.

Cu toate că SS7 a fost important pentru dezvoltarea serviciilor mobile globale, acesta a fost conceput într-o eră în care securitatea nu era o prioritate. Printre cele mai grave vulnerabilități se numără lipsa criptării datelor transmise, absența autentificării nodurilor din rețea și permisiunea implicită de acces pentru orice rețea care se conectează la infrastructura globală de semnalizare. Acest lucru permite atacatorilor, odată ce obțin acces la o rețea SS7 (prin companii partenere sau operatori nesecurizați), să trimită mesaje de semnalizare false pentru a deturna apeluri și SMS-uri, facilitând atacuri precum SIM Swapping-ul virtual sau urmărirea locației unui abonat [3, 4].

Diameter

Diameter este protocolul de semnalizare succesor al SS7, proiectat special pentru rețelele 4G și 5G, precum și pentru infrastructura IMS (IP Multimedia Subsystem). Spre deosebire de SS7, Diameter este construit pe baza IP și include funcționalități de securitate moderne, precum suportul nativ pentru TLS și IPsec, autentificarea și autorizarea entităților din rețea și controlul accesului la nivel de mesaj și tranzacție. Mesajele utilizate de Diameter sunt structurate pe cereri și răspunsuri, cum ar fi CER/CEA (Capability Exchange Request/Answer) pentru stabilirea conexiunilor, AAR/AAA (Authentication and Authorization Request/Answer) pentru gestionarea sesiunilor de utilizator și ULR/ULA (Update Location Request/Answer) pentru localizarea abonatului. Vulnerabilități pot apărea în implementările slabe sau în lipsa filtrării corespunzătoare a mesajelor între operatorii de roaming. Deși Diameter oferă o securitate mai bună decât SS7, el poate fi totuși exploatat dacă operatorii de rețea nu implementează măsuri stricte de control și nu urmăresc constant activitatea pe rețea [5].

Atacul SIM Swapping virtual (la nivel de rețea)

Spre deosebire de metoda clasică, SIM Swapping-ul virtual nu implică emiterea unui nou SIM, dar exploatarea directă a protocoalelor de semnalizare SS7 și Diameter pentru rerutarea traficului victimei către echipamentele atacatorului. Atacatorii pot trimite mesaje frauduloase care modifică locația abonatului în rețea sau rerutează apelurile și SMS-urile către o destinație controlată.

În cazul SS7, mesaje precum UpdateLocation și SendRoutingInfo sunt principalele vectori de atac, iar lipsa validării poate permite înregistrarea unui MSC (Mobile Switching Center) fals. Diameter, deși mai sigur, poate fi compromis dacă firewall-urile lipsesc sau dacă nu se verifică autenticitatea operatorilor de roaming. În ambele cazuri, atacurile sunt invizibile pentru victimă și pot fi executate la distanță, inclusiv internațional.

Măsuri tehnice de protecție împotriva atacurilor SIM Swapping

Atacurile de tip SIM Swapping sunt adesea hibride, asta înseamnă că combină tehnici de inginerie socială cu exploatarea vulnerabilităților tehnice din rețea. De exemplu, după obținerea datelor personale prin phishing, atacatorul poate fie să solicite un nou SIM, fie să exploateze rețeaua SS7 pentru rerutare. Atacurile hibride sunt mai greu de detectat și au un impact semnificativ, motiv pentru care măsurile de prevenție trebuie să acopere ambele dimensiuni. Combinația dintre erori umane și slăbiciuni tehnologice stă la baza celor mai grave incidente.

Pentru a reduce riscul atacurilor de tip SIM Swapping, este importantă adoptarea unor măsuri tehnice bine puse la punct la nivelul rețelelor și serviciilor mobile. În primul rând, utilizatorii ar trebui încurajați să adopte metode de autentificare multifactor (MFA) care nu se bazează pe SMS, cum ar fi aplicațiile TOTP (Time-based One-Time Password) sau dispozitivele hardware de tip token. La nivel de infrastructură, operatorii trebuie să implementeze firewall-uri specializate pentru protocoalele SS7 și Diameter, capabile să detecteze și să blocheze mesaje de semnalizare suspecte, precum UpdateLocation sau SendRoutingInfo. Pentru a proteja rețeaua de atacuri, trebuie să ne asigurăm că toate mesajele de semnalizare sunt criptate și că fiecare punct de legătură este verificat cu grijă. Așa putem preveni tentativele de falsificare din interiorul sistemului. Alte măsuri includ filtrarea și controlul strict al mesajelor de semnalizare din rețelele partenere și evitarea trecerii automate la rețele mai vechi și nesigure (ex: de la 4G/5G la 2G/3G).

Măsuri de protecție împotriva ingineriei sociale în cadrul atacurilor SIM Swapping

Nu putem vorbi despre securitate fără a lua în calcul factorul uman. Atacatorii profită adesea de neglijență, neînțelegeri sau pur și simplu de bună-credința oamenilor. De aceea, pe lângă soluțiile tehnice, trebuie să educăm și să conștientizăm toți utilizatorii – pentru că cea mai bună protecție începe cu oamenii informați și atenți. Este bine venită instruirea periodică a personalului operatorilor de telecomunicații în ceea ce privește recunoașterea tentativelor de manipulare, precum și actualizarea procedurilor de verificare a identității clienților. Acestea ar trebui să includă mai multe niveluri de autentificare și să evite bazarea exclusivă pe informații statice (nume, adresă, IDNP). În plus, se recomandă implementarea unor limitări și controale stricte asupra cererilor de schimb SIM, cum ar fi o perioadă minimă de așteptare în care clientul poate anula operațiunea sau notificări multiple către client. Pentru utilizatori, campaniile de informare sunt vitale în educarea privind riscurile asociate autentificării prin SMS și în încurajarea adoptării unor bune practici digitale, precum verificarea periodică a activităților conturilor și protejarea atentă a datelor personale.

Concluzii

Atacurile de tip SIM Swapping reprezintă o amenințare reală și persistentă în ecosistemul comunicațiilor mobile, având implicații serioase atât din punct de vedere tehnic, cât și uman. Evoluția de la metodele clasice, bazate pe inginerie socială, la variante virtuale care exploatează vulnerabilități din protocoalele SS7 și Diameter, arată adaptabilitatea și complexitatea acestor atacuri. Prin urmare, o strategie eficientă de apărare trebuie să combine măsuri tehnologice avansate, cum ar fi criptarea semnalizării, firewall-uri de semnalizare și autentificare multifactor, cu măsuri organizaționale și educaționale, inclusiv instruirea personalului și conștientizarea utilizatorilor. Numai printr-o înțelegere profundă a interacțiunii dintre factorii tehnici și sociali poate fi redus semnificativ impactul acestui tip de atacuri asupra utilizatorilor și infrastructurii

mobile globale. În plus, este esențial ca operatorii de telecomunicații, autoritățile de reglementare și furnizorii de servicii digitale să colaboreze activ pentru a crea un cadru de standarde și bune practici în domeniul securității comunicațiilor mobile. Pentru a crește reziliența infrastructurii, este important să impunem reguli clare de auditare a interconectărilor SS7/Diameter, să distribuim responsabilitățile între toate părțile implicate și să încurajăm reacții rapide în cazul unor incidente. Pe termen lung, doar o colaborare constantă poate asigura protejarea identității digitale a utilizatorilor și menținerea încrederii în serviciile mobile actuale.

Bibliografie

1. Hacker Sentenced to 30 Months for SIM Swapping Conspiracy Resulting in Theft of Nearly \$1 Million in Cryptocurrency. Disponibil online: <https://www.justice.gov/usao-az/pr/hacker-sentenced-30-months-sim-swapping-conspiracy-resulting-theft-nearly-1-million> (accesat 26.03.2025)
2. What is SIM Swapping?. Disponibil online: <https://www.bitpanda.com/academy/en/lessons/what-is-sim-swapping/> (accesat la 27.03.2025)
3. Diameter Base Protocol. Disponibil: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc6733.html> (accesat la 27.03.2025)
4. Framework Architecture for Signaling Transport. Disponibil: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc2719.html> (accesat la 28.03.2025)
5. Mitigating common fraud risks. Best practices for the mobile money industry. Disponibil: <https://www.gsma.com/solutions-and-impact/connectivity-for-good/mobile-for-development/wp-content/uploads/2019/12/Mitigating-common-fraud-risks-best-practices-for-the-mobile-money-industry-1.pdf> (accesat la 28.03.2025)

EVALUAREA SISTEMELOR INTEGRATE DE CONTROL AL ACCESULUI ÎN LABORATOARELE UNIVERSITARE UTM PRIN RECUNOAȘTERE FACIALĂ

Cristin DJANOSLVACHII

*Departamentul Telecomunicații și Sisteme Electronice, grupa IMTC211, Facultatea Electronică și telecomunicații,
Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova*

Îndrumătorul/coordonatorul științific **Valentina TÎRȘU**, conf. univ., dr., UTM

Rezumat. Această lucrare urmărește evaluarea eficienței unui sistem integrat de control al accesului în laboratoarele universitare ale UTM, bazat pe recunoaștere facială. Cercetarea s-a bazat pe analiza comparativă a tehnologiilor actuale de securitate (cartele RFID, PIN, biometrie, AI/IoT), precum și pe un studiu de caz al soluțiilor implementate la UTM în 2023. A fost evaluat impactul acestora asupra securității, eficienței administrative și protecției datelor. Rezultatele indică faptul că sistemele biometrice oferă un control mai precis și reduc erorile umane, însă ridică probleme privind confidențialitatea datelor și riscurile cibernetice. În concluzie, succesul implementării depinde de aplicarea strictă a reglementărilor GDPR, utilizarea tehnologiilor anti-spoofing și asigurarea transparenței în procesul de colectare și procesare a datelor biometrice.

Cuvinte cheie: recunoaștere facială, control acces, securitate biometrică, protecția datelor, tehnologii inteligente.

Introducere

Într-un context dominat de digitalizare accelerată și cerințe tot mai stricte privind securitatea spațiilor educaționale, instituțiile de învățământ superior sunt tot mai interesate de implementarea unor soluții moderne, eficiente și automatizate de control al accesului. Laboratoarele universitare, dotate cu echipamente performante și sensibile, necesită sisteme care să asigure atât protecția fizică, cât și securitatea cibernetică și a datelor cu caracter personal.

Metodele tradiționale, precum cartelele RFID sau codurile PIN, prezintă limite majore: pot fi ușor compromise, nu verifică identitatea reală a utilizatorului și nu se integrează cu infrastructura informatică modernă. În acest context, recunoașterea facială devine o alternativă viabilă, oferind un nivel superior de securitate, automatizare și control în timp real, dar ridică și provocări juridice, etice și tehnice privind prelucrarea datelor biometrice.

Lucrarea analizează critic aceste sisteme, cu aplicabilitate directă în laboratoarele Universității Tehnice a Moldovei, îmbinând perspectiva tehnologică cu cea juridică și etică. Sunt prezentate fundamentele teoretice, soluțiile tehnologice actuale, cadrul normativ și studii de caz relevante care demonstrează impactul pozitiv al acestor tehnologii asupra siguranței universitare moderne.

Conținut

Sistemele moderne utilizează recunoaștere biometrică (amprente, recunoaștere facială, scanarea irisului) și soluții digitale integrate cu rețele inteligente. Aceste tehnologii permit nu doar securitate sporită, ci și monitorizarea în timp real a fluxului de persoane și optimizarea resurselor universitare [1].

Tabelul 1.1. prezintă o perspectivă clară asupra modului în care sistemele de control al accesului au evoluat de-a lungul timpului, trecând de la soluții mecanice simple la tehnologii avansate bazate pe inteligență artificială și Internetul Lucrurilor (IoT). Acesta este structurat în patru coloane esențiale: *Etapă* – clasifică sistemele de acces în funcție de nivelul de evoluție

tehnologică; *Caracteristici* – oferă o descriere a modului în care funcționează fiecare sistem; *Avantaje* – prezintă principalele beneficii aduse de fiecare etapă a dezvoltării sistemelor de acces; *Dezavantaje* – evidențiază limitele și provocările fiecărei tehnologii.

Tabelul 1

Evoluția sistemelor de control al accesului

Etapă	Caracteristici	Avantaje	Dezavantaje
Sisteme electromecanice [2]	Mecanisme de control bazate pe chei și încuietori electrice.	Ușor de implementat, costuri reduse.	Vulnerabil la manipulare mecanică.
Cartele magnetice și coduri PIN [3]	Identificare prin carduri RFID sau coduri PIN; risc de pierdere sau furt.	Relativ accesibile, utilizate pe scară largă.	Risc de pierdere, furt sau împrumut.
Sisteme biometrice [4]	Recunoaștere facială, amprente, scanare iris; nivel ridicat de securitate.	Securitate sporită, elimină riscul pierderii cardurilor.	Dileme etice și juridice privind protecția datelor personale.
Acces prin tehnologii mobile [5]	Autentificare prin telefon (cod QR, Bluetooth, aplicații mobile).	Flexibilitate, integrare cu alte sisteme digitale.	Dependența de dispozitive mobile și conexiune la internet.
Sisteme inteligente (AI & IoT) [6]	Analiză AI, detectare anomalii, decizii automatizate, integrare IoT.	Monitorizare în timp real, răspuns rapid la incidente.	Costuri ridicate, necesită infrastructură avansată.

Implementarea sistemelor integrate de control al accesului în laboratoare universitare presupune o infrastructură informatică sigură și flexibilă. Soluții moderne precum Elasticsearch și Kibana permit gestionarea și vizualizarea eficientă a datelor, facilitând identificarea rapidă a accesărilor și a anomaliilor [7].

Platforme precum Proxmox oferă posibilități extinse de testare și implementare în medii virtualizate, contribuind la dezvoltarea unor aplicații scalabile și ușor de administrat [8].

Studiile privind digitalizarea universitară arată că succesul acestor soluții depinde și de adaptarea proceselor administrative, formarea personalului și interoperabilitatea cu alte sisteme informatice [9]. Astfel, managementul digital al accesului contribuie la modernizarea infrastructurii și la sporirea securității instituționale.

Arhitectura generală a unui sistem integrat modern (Figura 1.1) include următoarele componente:

- Hardware: camere video, senzori, controlere, mecanisme de blocare.
- Software: module de recunoaștere facială, baze de date, interfețe de control.
- Rețea: comunicații IP securizate, protocoale criptate.

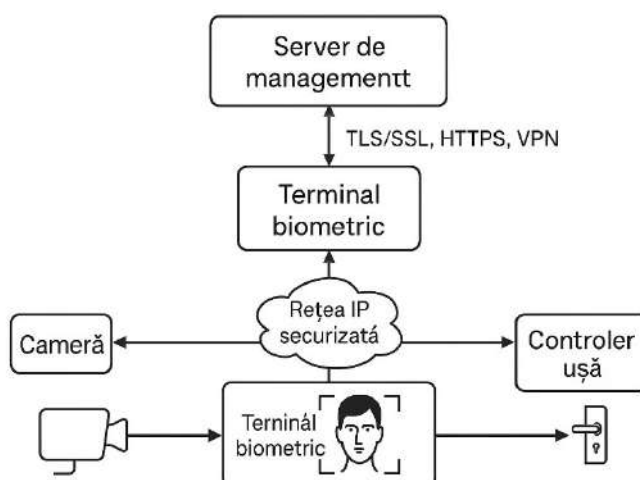


Figura 1. Schema funcțională a unui sistem de control bazat pe recunoaștere facială.

Sursa: elaborată de autor

Sistemele integrate de control al accesului pot fi proiectate pe mai multe tipuri de arhitecturi (vezi Tabelul 1.2), în funcție de complexitatea organizației și de nivelul de securitate dorit.

Tabelul 2

Arhitecturi standard ale sistemelor de control al accesului

Arhitectură	Descriere	Avantaje	Dezavantaje
Centralizată	Într-un sistem centralizat, toate punctele de acces sunt conectate la un server principal care gestionează și procesează datele. Acest model este eficient pentru organizațiile mari, permițând administrarea accesului dintr-un singur loc.	Control unitar: - Actualizare rapidă a permisiunilor - Integrare ușoară cu alte sisteme organizaționale (de exemplu, biblioteci, cantine, laboratoare)	Vulnerabilitate la defecțiuni ale serverului central
Distribuită	În acest model, fiecare punct de acces are propriul său controler care gestionează local identificarea și autentificarea utilizatorilor. Aceste controlere comunică între ele și cu un server central, dar pot funcționa și independent.	Fiabilitate crescută, deoarece un punct de acces nu depinde de întregul sistem: - Potrivită pentru organizații extinse cu mai multe clădiri	Costuri mai ridicate de implementare și întreținere
Hibridă	Combină elemente ale arhitecturilor centralizate și distribuite, oferind atât un control unitar, cât și o autonomie locală pentru fiecare punct de acces.	Flexibilitate sporită: - Optimizare a resurselor - Protecție împotriva defecțiunilor majore	Complexitate crescută în implementare

Sursa: elaborată de autor în baza [10]

Înțelegerea principiilor de funcționare și a arhitecturilor standard este importantă pentru implementarea eficientă a sistemelor de control al accesului, contribuind direct la creșterea securității și optimizarea operațională în mediile organizaționale și universitare.

Deși metodele tradiționale, precum codurile PIN, cardurile RFID sau controlul bazat pe roluri (RBAC), rămân utilizate pe scară largă, ele prezintă limitări semnificative în raport cu cerințele actuale privind securitatea, fiabilitatea și protecția datelor personale.

Tabelul 1.3 sintetizează aceste deficiențe și subliniază necesitatea adoptării unor soluții mai avansate, precum sistemele biometrice integrate. Acestea pot oferi un răspuns mai eficient la provocările tehnice, juridice și etice din mediul universitar actual, în care protecția datelor și controlul precis al accesului devin priorități strategice.

Tabelul 3

Algoritmi tradiționali de control al accesului

Metodă tradițională	Principiu de funcționare	Avantaje	Dezavantaje
Algoritmi criptografici (AES, RSA)	Criptarea comunicațiilor între dispozitive pentru protecția datelor utilizatorilor	Protecție ridicată, securitate sporită	Necesită resurse computaționale mari
Rule-Based Access Control (RBAC)	Definirea drepturilor de acces în funcție de rolul utilizatorului	Simplu de implementat, ușor de gestionat	Nu detectează fraude complexe
Carduri RFID și coduri PIN	Identificarea utilizatorului pe baza unei autentificări simple	Accesibil, utilizat pe scară largă	Risc de pierdere, furt sau împrumut

Sursa: elaborată de autor

Metodele tradiționale de acces, precum cartelele RFID, sunt eficiente, dar nu pot preveni situații precum împrumutul cardului, ceea ce le limitează fiabilitatea [4].

Recunoașterea facială oferă un nivel superior de securitate, prin analizarea trăsăturilor biometrice comparate cu modele stocate. Procesul implică detecția feței, extragerea trăsăturilor și identificarea utilizatorului.

Algoritmii folosiți variază de la metode clasice, precum **Eigenfaces** și **Fisherfaces**, la soluții moderne, bazate pe AI, precum **CNN** și **FaceNet**.

Tabelul 1.4 compară acești algoritmi și evidențiază implicațiile juridice și etice ale utilizării datelor biometrice, inclusiv riscurile, reglementările aplicabile și drepturile persoanelor vizate.

Tabelul 4

Aspecte esențiale în protecția datelor biometrice

Aspect	Descriere
Sensibilitatea datelor biometrice	Datele biometrice, precum trăsăturile faciale, sunt unice și permanente, ceea ce le face extrem de sensibile și vulnerabile la abuzuri.
Riscuri asociate	Compromiterea datelor biometrice poate duce la furt de identitate și la utilizarea neautorizată a informațiilor personale.
Reglementări aplicabile	GDPR impune reguli stricte privind colectarea, stocarea și prelucrarea datelor biometrice, inclusiv obținerea consimțământului explicit al persoanelor vizate.
Obligațiile instituțiilor	Instituțiile trebuie să implementeze măsuri tehnice și organizatorice adecvate pentru a proteja datele biometrice și să asigure transparența proceselor de prelucrare.
Drepturile persoanelor vizate	Persoanele au dreptul de a fi informate despre modul în care sunt prelucrate datele lor biometrice, de a accesa aceste date și de a solicita ștergerea lor în anumite condiții.

Sursa: elaborată de autor

Protejarea datelor biometrice este esențială datorită caracterului lor unic și permanent, ceea ce le face vulnerabile la abuzuri și furt de identitate. Conformarea cu reglementările în vigoare, precum GDPR, impune instituțiilor să adopte măsuri tehnice și organizatorice adecvate pentru a asigura securitatea acestor date și pentru a respecta drepturile persoanelor vizate. Astfel, se menține încrederea utilizatorilor și se previn potențiale abuzuri legate de utilizarea necorespunzătoare a informațiilor personale sensibile.

Performanțele tehnologice sunt completate de exemple vizuale sintetizate în Figura 1.2, care ilustrează diferențele de procesare între metodele tradiționale și cele bazate pe AI.

Aceste informații justifică tranziția spre soluții AI moderne în mediile universitare, unde fiabilitatea și securitatea sunt priorități.

Utilizarea tehnologiei de recunoaștere facială implică respectarea unor reglementări stricte privind protecția datelor. La nivel internațional, se aplică GDPR, iar în Republica Moldova – Legea nr. 133/2011 privind protecția datelor cu caracter personal [11].

Tehnologia ridică probleme legate de confidențialitatea datelor biometrice și necesitatea obținerii consimțământului informat al utilizatorilor. Pentru a asigura protecția acestora, instituțiile trebuie să adopte măsuri precum: criptarea datelor, controlul accesului, anonimizarea și audituri de securitate.

Pe lângă aspectele juridice, există și riscuri etice și sociale, inclusiv posibile abuzuri, discriminare algoritmică sau afectarea libertăților individuale. Astfel, implementarea acestor sisteme trebuie să fie transparentă, proporțională și justificată.

Implementarea sistemelor moderne de control al accesului este confirmată prin studii de caz relevante la nivel internațional și național.

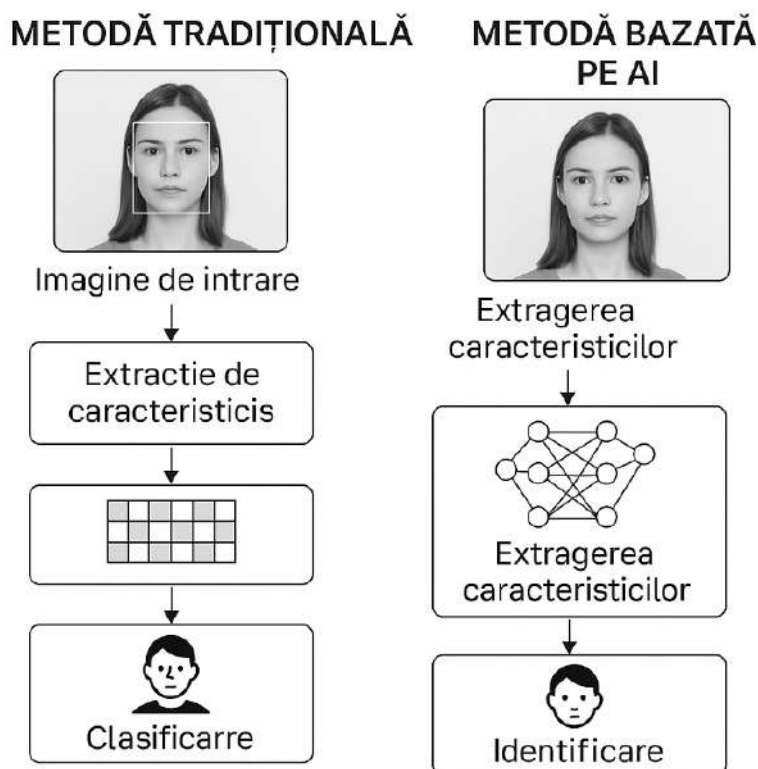


Figura 2 Comparație între metodele tradiționale și cele bazate pe inteligență artificială în procesul de recunoaștere facial

Sursa: elaborata de autor

La **Universitatea Oxford**, utilizarea combinată a tehnologiei **RFID** și a recunoașterii faciale a dus la o reducere cu 30% a incidentelor de securitate și la o gestionare eficientă a accesului în biblioteci și laboratoare [12].

MIT a adoptat un sistem bazat pe aplicații mobile și coduri **QR**, permițând un control în timp real și reducerea timpului de verificare [13].

În Republica Moldova, **UTM** a implementat un sistem electronic în laboratoare și săli de studiu, folosind cartele **RFID** și autentificare biometrică, cu rol în monitorizarea prezenței și accesului diferențiat [14].

La **USM**, cartelele personalizate oferă acces controlat în cămine, săli și laboratoare, contribuind la reducerea accesului neautorizat și la o monitorizare mai eficientă a campusului [15].

Aceste exemple demonstrează impactul pozitiv al soluțiilor tehnologice asupra securității, eficienței administrative și protecției datelor în instituțiile de învățământ superior.

Pe măsură ce tehnologiile evoluează – de la carduri RFID la soluții AI – se conturează un **model de campus inteligent**, capabil să răspundă cerințelor complexe ale unui mediu educațional modern [16].

Sistemele actuale de control al accesului oferă un nivel ridicat de securitate, dar sunt încă limitate de costuri, complexitatea implementării și acceptabilitatea utilizatorilor.

Tehnologiile emergente precum **inteligența artificială (AI)** și **Internet of Things (IoT)** promit soluții mai inteligente, autonome și adaptabile.

O direcție importantă de cercetare este **integrarea acestor sisteme cu platforme de monitorizare video, aplicații de management al accesului și rețele 5G**, pentru o experiență sigură, conectată și în timp real.

Concluzii

Implementarea sistemelor de control al accesului bazate pe recunoaștere facială oferă un nivel superior de securitate, automatizare și eficiență operațională în universități. Studiile de caz analizate confirmă reducerea incidentelor de securitate și optimizarea fluxului de persoane.

Aceste soluții contribuie semnificativ la protejarea infrastructurii academice și a datelor personale, cu condiția respectării stricte a reglementărilor legale și etice.

Pentru dezvoltarea ulterioară, se recomandă: integrarea tehnologiilor AI și IoT, asigurarea interoperabilității cu alte sisteme (5G, monitorizare), precum și formarea personalului și informarea utilizatorilor pentru creșterea gradului de acceptare.

Bibliografie

1. Badea, A. (2018). Sisteme informatice pentru managementul organizațiilor. Editura ASE. Disponibil la: <https://ase.ro>
2. Iordache, I. (2022). Sisteme electronice de control al accesului. Ghid ilustrat. Disponibil la: <https://ionordache.com/wp-content/uploads/2022/05/Sisteme-electronice-de-control-al-accesului.pdf>
3. Smith, J. (2021). Biometric Access Control in Higher Education: A Comprehensive Study. IEEE Transactions on Security. Disponibil la: <https://ieeexplore.ieee.org>
4. Anderson, D. (2020). Digital Security and Access Management in Academic Institutions. Elsevier. Disponibil la: <https://www.sciencedirect.com>
5. Brown, L.; Green, K. (2019). Implementing Mobile Authentication in Enterprise Environments. IEEE Transactions on Mobile Computing, 18(3), 613-626
6. Mohammadi, M.; Al-Fuqaha, A.; Sorour, S.; Guizani, M. (2018). Deep learning for IoT big data and streaming analytics: A survey. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 20(4), 2923-2960.
7. TÎRȘU, V.; SAVA, L. *Integrating Elasticsearch and Kibana in ICT management processes for economic efficiency in multimedia content administration*. The Scientific Heritage, Vol. 1, Nr. 142, 2024, p.15–20.
8. TÎRȘU, V.; CERBU, O. Interactive visualization of geographical data using Proxmox and modern technologies. The Scientific Heritage, Vol. 1, Nr. 142, 2024, p.21–26.
9. SAVA, L.; TÎRȘU, V. Management of information system digitalization in university subdivisions. The Scientific Heritage, Vol. 1, Nr. 142, 2024, p.9–14.
10. Microsoft Security – Soluții de autentificare fără parolă. Disponibil la: <https://www.microsoft.com/ro-ro/security/business/solutions/passwordless-authentication>
11. Legea nr. 133 din 8 iulie 2011 privind protecția datelor cu caracter personal. Monitorul Oficial al Republicii Moldova, nr. 170 din 14 iulie 2011. Disponibil la: https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=10607&lang=ro
12. Oxford University. (2023). Security and Access Control Systems in Higher Education. Disponibil la: <https://www.ox.ac.uk>
13. MIT. (2022). Smart Campus Initiatives: Integrating Digital Identity Systems. Disponibil la: <https://www.mit.edu>
14. Universitatea Tehnică a Moldovei. (2024). Sistemul de control al accesului în laboratoare și săli de studiu – implementare și beneficii. Disponibil la: <https://utm.md>
15. Universitatea de Stat din Moldova. (2023). Modernizarea sistemelor de acces în campusurile universitare. Disponibil la: <https://usm.md>
16. Danilescu, M. (2021). Controlul accesului și acțiunilor în sistemele informaționale. Teză de doctorat, Universitatea Tehnică a Moldovei. Disponibil la: https://www.cnaa.md/files/theses/20222/57796/marcel_danilescu_thesis.pdf

HYPERSPETRAL IMAGING FOR MONITORING AGRICULTURAL CROP IMAGERY CAPTURED WITH DRONES

Arina MOISEI

Department of Telecommunications and Electronic Systems, Faculty of Electronics and Telecommunications,
Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova

Corresponding author: Arina Moisei, email arina.moisei@tse.utm.md

Tutor/coordinator: Alisa MAȘNIC, PhD, Department of Telecommunications and Electronic System

Abstract. *Monitoring the health of agricultural crops is a critical task for ensuring food security and improving the efficiency of agricultural production. One of the most promising methods of monitoring is the use of hyperspectral imaging, which is carried out using drones. This technology allows for the acquisition of detailed information about the condition of crops, necessary for early disease detection and optimization of agricultural practices. The techniques for acquiring hyperspectral images can be classified into four types: point-by-point scanning, line-by-line scanning, wavelength scanning, and snapshot imaging. The aim is to study and process multispectral images of aquatic areas and agricultural crops for the operational assessment of crop health and yield prediction. The methodology includes an analysis of scientific literature on this topic and data processing in the Sentinel-2 program by determining the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). The main result of the research is a graphical representation of the images processed in the program, determining the condition of the crops, which leads to the conclusion that the application of hyperspectral imaging makes the agricultural process more efficient, faster, and more stable.*

Keywords: *Hyperspectral imaging, agriculture, multispectral imaging, vegetation indices*

Introduction

Ensuring food security is a key priority in the modern world, and the effective analysis and monitoring of the condition of agricultural crops plays a primary role in this process. The history of these studies dates back to the 1800s when the first sensors for measuring soil composition began to be used in agriculture. These early tools laid the foundation for the further development of monitoring technologies, which gradually evolved into more complex aerial and satellite sensing systems. These systems were mainly based on several key ranges of the visible and near-infrared spectrum detail [1]. Today, technological advancements allow us to use hyperspectral imaging, which significantly increases the accuracy of measurements and has a tremendous impact on the development and growth of agricultural crops.

Hyperspectral imaging is based on analyzing the reflectance of objects to determine their spectral characteristics [2]. This allows for the analysis of plant health based on their physicochemical composition, which, in turn, makes it possible to detect diseases, nutrient deficiencies, and other problems at early stages.

Types of hyperspectral imaging

There are different ways to create multi- and hyperspectral images, which can be divided into four main groups [3]. Each of them has its own strengths and weaknesses:

1. Single-Point Scanning

This method is based on sequentially scanning each individual point of the plane. The light reflected from the target point is focused by an optical element and subsequently dispersed by an optical prism into spectral components, which are recorded by a linear sensor, as shown in

Fig.1. This technique allows achieving high spectral resolution, however, the image acquisition speed is extremely low.

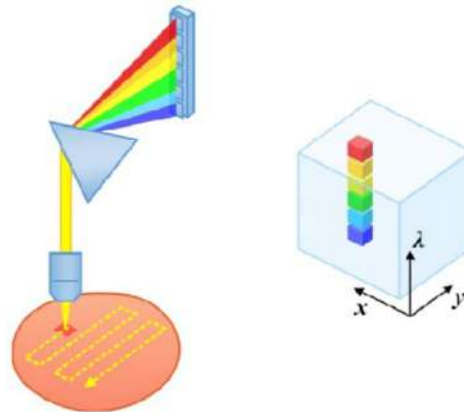


Figure 1. Single-Point Scanning

2. Line-By-Line Scanning

To increase the data acquisition speed, a line-by-line scanning method of the target scene is used. The focused light passing through a slit is projected onto an optical prism. A matrix sensor allows obtaining hyperspectral information for each pixel within a row simultaneously, as demonstrated in Fig.2. This provides a significant increase in data acquisition speed compared to the single-point method, but temporal distortions may occur if the object or sensor moves unevenly.

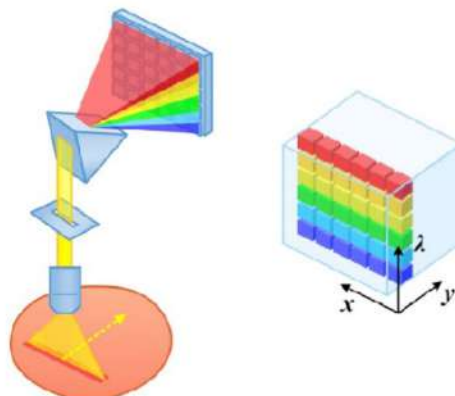


Figure 2. Line-By-Line Scanning

3. Wavelength Scanning

This technique uses a rotating disk with a set of optical filters, each of which corresponds to a specific spectral range. Sequential change of filters allows to obtain an image of the scene in different spectral bands, as illustrated in Fig. 3. The main limitation of the method is the relatively low spectral resolution, which leads to obtaining a multispectral rather than a hyperspectral image. While enabling simultaneous acquisition of a full image within a defined spectral band, extending to the hyperspectral range is limited by the physical number of filters that can be accommodated on the rotating disk.

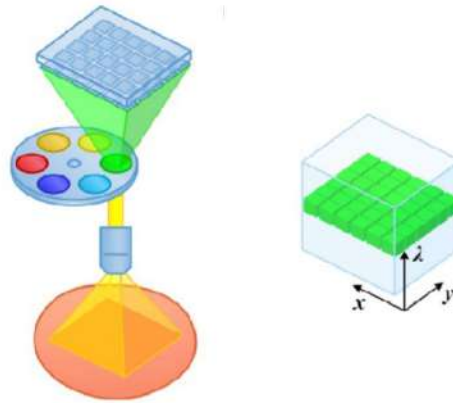


Figure 3. Wavelength Scanning

4. Snapshot Imaging

This method allows capturing a complete hyperspectral data cube simultaneously in a single snapshot and uses a complex optical system, including a first set of optical prisms to deflect light rays from each row of the image and a second set of prisms to disperse the light into wavelengths for each pixel in the row, as represented in Fig. 4. The main advantage of this method is the high speed of image acquisition and minimization of distortions, which is ideal for monitoring dynamic processes, but it has several disadvantages, such as the complexity, high cost of the optical system, and relatively low spatial resolution.

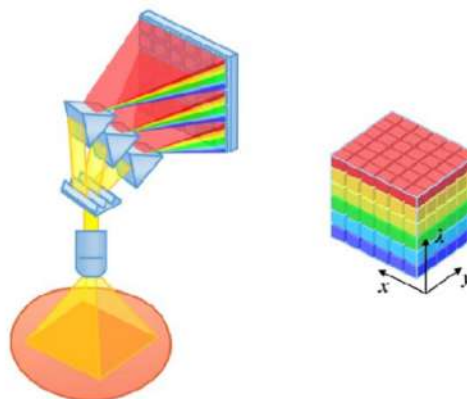


Figure 4. Snapshot Scanning

In agricultural practice, line scanning is the most widely used method, as it possesses a higher data acquisition speed and provides sufficient spectral expansion, however, for monitoring the vegetation index and assessing biomass, the most suitable method would be wavelength scanning.

Vegetation Indices

To effectively utilize information obtained from hyperspectral imagery captured by drones, vegetation indices have been developed to determine the condition of plants. The most frequently used indices are the Difference Vegetation Index (DVI), Simple Ratio (SR), and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) [3].

The Difference Vegetation Index (DVI) is sensitive to differences in vegetation density and can distinguish between vegetation and soil [4,5]. This index represents the difference between reflectance in the near-infrared band (NIR) and reflectance in the red band (RED).

$$DVI = NIR - RED \quad (1)$$

High DVI values generally indicate denser and healthier vegetation, making it useful for monitoring changes in vegetation cover over time. It is worth noting that the value of this index is influenced by the presence of shadows, topographic factors such as lighting measurement, and the scale of the image.

The Simple Ratio (SR), like the previous index, provides information on the vegetation density present in the scene, but in turn reduces the effects of solar radiation scattering in the atmosphere or shadows [4,6]. It is calculated as the ratio between reflectance in the NIR band and reflectance in the red band.

$$SR = \frac{NIR}{RED} \quad (2)$$

High values indicate the presence of vegetation and low values indicate soil, ice, or water. However, changes in soil color and moisture can affect the SR value, even without changes in vegetation cover, which can introduce inaccuracies in the vegetation analysis.

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) indicates vegetation density, minimizing the influence of topography on the final result, and calculates the level of vegetation health based on how plants reflect light at specific wavelengths [4,7]. NDVI is calculated using the formula:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (3)$$

The values of this index range from -1 to 1: a calculated NDVI value approaching 1 indicates that the vegetation is rich in healthy and well-developed, soil generates NDVI values in the range of 0.1 to 0.2, while values close to -1 or negative correspond to water bodies, values close to zero (from -0.1 to 0.1) generally correspond to areas of rock, sand, or snow, what is represented in Fig. 5.



Figure 5. Agricultural sector and corresponding NVDI pseudo-image, captured using Sentinel-2

Based on Figure 5, we can determine the state of the vegetation in this area: The vineyard on the left side of the image corresponds to a sector with an NDVI close to 0.6-0.8, indicating healthy vegetation. The trees along the road also have high NDVI values, which suggests a good condition of the foliage, and that these areas are not lacking water and other essential microelements. The field in higher left corner has an NDVI close to 0, indicating the absence of active vegetation or dry soil, and requires further assessment.

The graphic illustrated in Fig. 6 shows the spectral reflectance characteristics of different surfaces as captured by the Sentinel-2 L2A satellite [7]. Each line on the graph represents the reflectance curve for a specific surface type.



Figure 6. Spectral signatures for the surveyed area

The green line is a typical curve for healthy vegetation, showing strong absorption in the visible red spectrum and high reflectance in the near-infrared (NIR) spectrum. Soil (brown) and concrete (gray) have flatter and more stable reflectance curves without sharp changes, and they differ from vegetation by the absence of a sharp increase in reflectance in the NIR spectrum. Water exhibits almost no reflectance in the visible and infrared ranges, with reflectance values near 0.

By comparing the yellow curve with the others, we can identify the surface type based on its reflectance in different spectral ranges.

Fig. 7 displays a time-series graphic of NDVI fluctuations, specifically charting the changes from the end of March through the end of April for the area of interest (shown in Fig. 5.)



Figure 7. Spectral signatures for the surveyed area

During this period, there is a significant increase in NDVI, indicating rapid vegetation growth, presumably related to the onset of spring growth in agricultural crops.

NDVI is most commonly used in agriculture because it allows for the most accurate determination of plant condition and stress. It also has relatively low data requirements, as it can utilize not only hyperspectral but also multispectral images obtained from drones, aircraft, or satellites [8].

Conclusions

The use of drone-based hyperspectral imagery and vegetation indices provides a crucial advantage in accurately assessing plant health and identifying stress factors, such as water deficiency. This capability is essential for remote sensing and monitoring agricultural crops. The widespread application of crop condition analysis using NDVI has a significant positive impact on crop yields and overall agricultural management.

Acknowledgments

This work was funded by the Moldavian Ministry of Education and Research project "Satellite systems and platform for monitoring plantations and aquatic surfaces using space and drone technologies", code 020401.

Bibliography

1. MULLA, D. J. Twenty-five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems engineering* 2013, vol. 114, pp.358-371.
2. KOLESNIK, I. V. Earth. A view from space. Hyperspectral imaging. *A step into science* 2019, no. 3, pp. 113-114.
3. JACKSON, R. D.; HUETE, A. R. Interpreting vegetation indices. *Preventive veterinary medicine* 1991, pp.185-200.
4. COLIBAN R.; IVANOVICI M. *From Color to Hyperspectral. Elements of Acquisition, Analysis, and Processing of Images*, Publisher: Transilvania University Press, Brașov, Romania, 2022; pp. 22-24, 126-129.
5. KOMAROV, A. A.; KIRSANOV, A. D.; MALASHIN, S. N. Comparative Characteristics of Various Vegetation Indices in Assessing the State of Vegetation Cover of Forage Grasses. *News of Saint Petersburg State Agrarian University* 2021, vol. 63, pp. 18-29, doi:10.24412/2078-1318-2021-2-18-29.
6. The use of vegetation indices for vegetation analysis. Available online: https://gisproxima.ru/ispolzovanie_vegetatsionnyh_indeksov (accessed on 06.05.2025).
7. MAȘNIC, A.; CRISTEA E.; GANEA, V.; MANIN, N. Vegetation and water body inspection and monitoring using multispectral drone imagery. In *Electronics, Communications and Computing*, Technical University of Moldova, Republic of Moldova, 17-18 Oct. 2024; Publisher: Chișinău, Republic of Moldova, 2024.
8. PORUBIN, L.; CATERENCIUC S. [English for Electronics and Telecommunication Engineering](#). Chisinau, „Tehnica-UTM”, 2025, ISBN 978-9975-64-502-7
9. PORUBIN, L.; JECHIU A. *English for Power and Electrical Engineering Students*, Chisinau, „Tehnica-UTM”, 2022, ISBN 978-9975-45-787-3

LEADERSHIP-UL COMPARATIV: MODELE DE SUCCES ÎN DIFERITE CULTURI

Ariana ȚENU

Telecomunicații și Sisteme Electronice, IMTC-221, Facultatea Electronică și Telecomunicații, Universitatea
Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

*Autorul corespondent: Ariana Țenu, tenuariana77@gmail.com

Îndrumător/coordonator științific: **Ecaterina CRISTEA**, asistent universitar, Departamentul Tehnologii
și Sisteme Electronice, Facultatea Electronică și Telecomunicații, Universitatea Tehnică a Moldovei

Rezumat. Cercetarea se concentrează pe diseminarea tipurilor de leadership în diferite regiuni ale lumii, dar și în diferite culturi ale societății. Fiecare lider adoptă metoda sa de dezvoltare a echipei și de conducere a acesteia. Rezultatele studiilor indică faptul că nu există o metodă greșită sau corectă, pentru că toate au generat un efect pozitiv în diferite perioade de evoluție umană, adaptate fiind la acele timpuri. Studiile arată că, de fapt, nu liderii care au adoptat un singur tip de leadership au evoluat până la apogeu, ci cei care au putut să se modeleze în funcție de provocările și situațiile vremurilor în care erau la conducere. Puterea este definită prin adaptabilitate și mai puțin prin coerență. Capacitatea abordării oricărui tip de leadership în funcție de contextul în care se poziționează firma este colosal de importantă, astfel creând cei mai mari lideri ai lumii, care au început și au creat un anumit curent în leadership, pentru ca ulterior să le abordeze și pe celelalte.

Cuvinte cheie: tipuri de leadership, culturi, succes, diferențe regionale

Introducere

Cercetarea leadership-ului începe de la definiția lui și anume – este o caracteristică esențială a managementului, care are drept scop stimularea eficienței operaționale și susține succesul unei organizații. De asemenea, această noțiune valorifică crearea unui spațiu favorabil pentru fiecare angajat în care poate să avanseze și să dezvolte competențe esențiale în domeniul său profesional [1]. De procesul de leadership se ocupă o persoană responsabilă care este delegată să influențeze și să motiveze membrii organizației. Deși scopul fiecărui lider este același, modul prin care acesta tinde să-și impulsioneze echipa diferă de la țară la țară și de la cultură la cultură.

Cu cât liderul cunoaște și promovează leadership-ul diferitor culturi, cu atât influența sa devine mai autentică și eficientă.

Stiluri tradiționale de leadership

1. **Leadership-ul Autoritar:** liderul ia decizii de unul singur, fără a discuta cu membrii echipei. Un exemplu cunoscut este Steve Jobs, având un stil de conducere foarte pretențios și sever. Acest tip de leadership are și avantaje, dar și dezavantaje. Deși să lucrezi pe cont propriu atunci când faci parte dintr-o echipă generează situații de conflict la locul de muncă, cu echipa și în general în organizație sau firmă, în situații critice, cum ar fi conflictele militare sau în sectorul energetic, luarea deciziilor de unul singur și atitudinea mai riguroasă contribuie pozitiv la influențarea corectă a membrilor.
2. **Leadership-ul Democratic:** deciziile se iau împreună cu echipa, iar liderul intenționează să lucreze în grup, astfel creând în cercul membrilor săi un spațiu plăcut și o putere de motivare mai mare. Richard Branson fondatorul Virgin Group (care controlează peste 400 de companii) este un lider ce a valorificat acest stil și a ajuns al 5-lea cel mai bogat

om din Regatul Unit, cu o avere de 4,2 miliarde dolari [2]. Acest stil este implementat companiile de tehnologie, unde cel mai important factor este inovația. Un exemplu în acest caz servește Google, care acordă o atenție deosebită pe munca de echipă și libertatea de exprimare a ideilor, care ulterior sunt puse în practică [3].

3. **Leadership-ul Laissez-Faire** sau stilul liber, oferă posibilitatea coechipierilor să facă alegeri singuri, fără a se consulta cu ceilalți membri ai echipei sau cu liderul. Un reprezentat care adoptă acest tip de leadership este Warren Buffet – investitor American și CEO al Berkshire Hathaway, care în 2007 a fost cel mai bogat om din lume, iar în 2024 s-a clasat pe locul 10 [4]. Acest stil de leadership se utilizează în domeniile mai creative sau cele ale cercetării, acolo unde progresul este determinat de autonomia savantului. Avantajul leadership-ului Laissez-Faire este versatilitatea în funcție de schimbările bruște.

Stiluri modern de leadership

1. **Leadership-ul Transformațional** este definit de liderii care servesc drept exemplu pentru angajații săi prin propria lor atitudine și dedicare. Barack Obama este unul dintre acești lideri, reușind prin munca sa să creeze un progres inspirațional. O altă persoană care a adoptat leadership-ul tradițional este Satya Nadella – CEO al Microsoft [5], care a reînnoit cultura companiei, creionând valoarea companiei și a ideii de continuă inovare.
2. **Servant Leadership** presupune o metodă de ghidare a angajaților mai diferită comparativ cu celelalte, adică liderul tinde să pună nevoile sale pe locul 2, iar necesitățile firmei sunt primordiale pentru el [6]. Părintele acestui leadership este Robert Greenleaf, el dând noțiunea de „Liderul ca slujitor” [7].
3. **Leadership-ul Situațional** este o metodă prin care liderii devin maleabili în funcție de capacitățile și necesitățile angajaților în diferite situații. Paul Hersey a fost fondatorul acestui curent care și-a expus ideile prin publicarea câtorva cărți și prin crearea unui centru de studii al leadershipului, unde se baza pe leadershipul situațional [8].
4. **Leadership-ul Carismatic**. Așa cum o zice și numele, liderii acestui curent motivează prin carisma lor și puterea personalității. Acest tip de leadership a fost fondat de către Richard Branson, creatorul Virgin Group, care avea drept scop captarea atenției maselor prin atitudine și felul liderului de a fi.
5. **Leadership-ul Participativ** este caracteristic prin motivarea echipei și implicarea lor în luarea deciziilor cheie pentru funcționarea de durată a firmei.
6. **Leadership-ul Coach** se bazează pe avansarea continuă a angajaților, prin păreri și abordări de situații constructive. Pentru abilități de coaching este cunoscut Sundar Pichai – CEO Google – care lucrează cot la cot cu angajații săi [9].

Studii de caz – modele de leadership în cele mai mari țări ale lumii (Tab. 1)

Tabelul 1

Tabelul comparativ: tipul de leadership în funcție de cultură

Țară	Valori centrale ale culturilor	Tip de leadership	Lider	Factorii-cheie ai succesului
SUA	Individualism, asumarea dezavantajelor	Carismatic, axat pe impacturi	Steve Jobs (Apple)	Spirit inovator, anticiparea schimbărilor
Japonia	Spirit de echipă, coeziune, ordine ierarhică	Situațional	Akio Toyoda (Toyota)	Cooperare, consistență, considerație
Germania	Organizare, Minimizarea riscurilor, corectitudine	Democratic	Angela Merkel	Transparență, productivitate, pregătire detaliată
America Latină	Comuniune socială,	Servant Leadership	Jorge Paulo	Credibilitate,

(Brazilia)	colaborare, manifestare emoțională		Lemann (AmBev)	compasiune, conexiune
Suedia	Echitate, spirit feminin, înțelegere mutuală	Participativ	Greta Thunbers (activism)	Integrare, cooperare, adeciziuni participative
China	Spirit de echipă, ordine ierarhică, perspective durabile	Transformațional	Xi Jinping	Angajament, Supraveghere, Perspectivă durabilă
India	Sistem ierarhic, dimensiune spirituală, versatilitate	Coach Leadership	Narayana Murthy (Infosys)	Aprecieri, leadership empatic, influență prin principii

Țările Nordice

Suedia, Norvegia, Danemarca se bazează pe tratament nediscriminatoriu, implicare activă, gestionarea echitabilă a vieții profesionale și personale, stilul de leadership fiind orientat pe cel participativ și empatic

Asia de Est

China, Coreea de Sud și Japonia pun accent pe un stil autoritar și în același timp strategic care face trimitere directă către angajați, într-un mod pozitiv. Cultura acestor țări fiind una organizațională ierarhică, loialitatea și fidelitatea față de lider are o însemnătate primordială.

Europa Occidentală

Franța, Germania și alte țări accentuează o mulțime de stiluri. Totuși, Franța se deosebește de celelalte printr-un stil de elită, dat fiind faptul că toți liderii francezi sunt absolvenți ai celor mai prestigioase instituții atât din Franța, cât și din lume. Astfel respectul pentru autoritate este un factor definitoriu, deși și aici există apartenența dezbaterilor intelectuale și ale colectivității.

America de Nord

SUA, Canada. Aici cultura organizațională este valorificată prin individualism, progres și performanță. Fiecare organizație tinde să fie cea mai bună, astfel valorificându-se competitivitatea sănătoasă și proiecte pe termen lung.

America Latină

Brazilia, Mexic, Argentina sunt țările care adoptă un stil de leadership rațional, cu influențe paternaliste. Cultura organizațională este informală atunci când vine vorba de comunicare, dar se pune un mare accent pe colectivitate și interconexiuni. De asemenea, și aici respectul față de autoritate este bine definit, accentuându-se prin loialitate.

Africa și Orientul Mijlociu

În Nigeria, Africa de Sud, Egipt, Kenya forma de leadership este în concordanță directă cu valorile tradiționale și spirituale, caracteristice acestor regiuni. Aici, deseori, liderii adoptă un leadership autoritar sau carismatic, iar religia are o influență primordială. Cultura organizațională se focusează pe loialitatea față de cel mai mare din colectiv.

Tabelul 2

Cauzele diferențelor de leadership în funcție de culturi

Cauzele	Exemplificare
Istoria și evoluția socială	Consecința revoluțiilor și a colonismului, moștenirea autotuturității.
Cultura și religia	Impactul religiilor (creștinism, islam), valori tradiționale bazate pe respect față de autoritate.
Factori politici	Nivelul de stabilitate sau instabilitate politică, situațiile de conflict, de maxime tensiuni teritoriale.
Standarde sociale și valori colective	Ideile promovate de Europa de Nord care definesc individualismul vs ideile promovate de Asia și Africa, care descriu colectivismul.
Sisteme de învățământ	Instruirea avansată a liderilor în cele mai de elită instituții din lume.

Organizarea economică și socială

Sistemele economice mai dezvoltate sunt caracterizate de un leadership participativ, pe lângă cele mai puțin dezvoltate sunt definite de o autoritate centralizată

Concluzii

Fiecare stil fundamental de leadership continuă să determine schimbări în abordările actuale de management, în special în era digitală. Deși sunt multe stiluri și toate atât de variate, un lider potrivit se caracterizează prin adaptabilitatea lui la diferite schimbări și stiluri care în timp pot deveni mai necesare unele decât altele pentru echipa sa. Când un lider schimbă tactica de conducere și anume el devine un colaborator mai mult decât un șef, atunci lucrurile iau o întorsătură avantajoasă pentru firmă și echipa de angajați. Diferențe în ideile și tipurile de leadership sunt efectul advers al mai multor factori istorici, economici, politici și culturali. Un om poate fi lider dacă este capabil să se adapteze la schimbările erei în care trăiește și dacă este apt să abordeze noi idei pentru a nu stagna funcționalitatea firmei.

Dezvoltarea leadershipului și implementarea tuturor metodelor lui rămâne un subiect de studiu esențial pentru viitorii lideri, iar preocupările adaptabilității la noile curente sunt primordial în viața cotidiană.

Referințe

1. <https://www.mmmconsulting.ro/ce-inseamna-leadership/>
2. https://ro.wikipedia.org/wiki/Richard_Branson
3. https://florinrosoga.ro/stiluri-de-leadership/?utm_source=chatgpt.com#stiluri-traditionale-de-leadership
4. https://ro.wikipedia.org/wiki/Warren_Buffett
5. https://ro.wikipedia.org/wiki/Satya_Nadella
6. <https://hpdi.ro/servant-leadership-10-principii-cheie/>
7. <https://www.todaysoftmag.ro/article/2947/rolul-autohton-al-unui-servant-leader>
8. https://en.wikipedia.org/wiki/Paul_Hersey
9. https://ro.wikipedia.org/wiki/Sundar_Pichai

ZERO TRUST NETWORK ACCESS CA STRATEGIE ADAPTIVĂ ÎN FAȚA DINAMISMULUI ATACURILOR CIBERNETICE MODERNE

Andrei NITREANU, Victor SCLIFOS

Departamentul Tehnologii și Sisteme Electronice, MMRT 241, Facultatea Electronică și Telecomunicații,
Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

Îndrumător/coordonator științific: **Andrian PRISĂCARU**, andrian.prisacaru1@isa.utm.md, FET UTM

Rezumat: Dezvoltarea și complexitatea crescută a atacurilor cibernetice contemporane impun adoptarea strategiei Zero Trust Network Access (ZTNA) drept metodologie adaptivă în asigurarea securității infrastructurilor digitale. Această abordare se bazează pe principiul fundamental al verificării continue și al lipsei implicite de încredere („zero trust”), contribuind astfel la diminuarea suprafeței expuse riscurilor informatice. Din punct de vedere tehnic, strategia ZTNA implică aplicarea unor măsuri riguroase de autentificare și autorizare granulară a utilizatorilor și dispozitivelor, alături de monitorizarea continuă a comportamentului acestora. Sunt examinate mecanisme avansate de control al accesului și verificare permanentă a identității, menite să prevină exploatarea vulnerabilităților și să reducă eficient riscurile asociate atacurilor cibernetice sofisticate și persistente. Integrarea acestei strategii în procesele operaționale ale organizațiilor moderne asigură un nivel superior de reziliență și eficacitate în fața amenințărilor informatice actuale.

Cuvinte cheie: ZTNA, zero trust, MFA, DLP, DAAS, SASE, CASB

Introducere

Complexitatea și nesiguranța mediului digital contemporan, amplificate de creșterea volumului de trafic online și de interconectivitatea globală, generează un context propice intensificării riscurilor cibernetice. Diversificarea metodelor de atac, de la exploatarea vulnerabilităților software până la tehnici avansate de inginerie socială, impune un cadru de securitate capabil să răspundă dinamic și anticipativ acestor provocări. Totodată, avansul tehnologic aduce cu sine o expansiune a suprafeței de atac, în special prin adoptarea pe scară largă a infrastructurilor cloud, a muncii la distanță și a dispozitivelor conectate. Consecințele atacurilor cibernetice nu mai vizează doar pierderi financiare, ci și compromiterea confidențialității, integrității și continuității operaționale a entităților vizate. În acest peisaj tehnologic aflat în continuă transformare, strategia Zero Trust Network Access (ZTNA) se evidențiază ca o soluție modernă și eficientă, fundamentată pe eliminarea încrederii implicite și pe validarea continuă a identității și comportamentului entităților care accesează resursele digitale. Prin aplicarea unor politici stricte de control al accesului, autentificare multifactorială și monitorizare constantă, ZTNA oferă un cadru robust de protecție adaptat cerințelor actuale de securitate cibernetică.

Explorarea mecanismelor dinamice de apărare oferite de ZTNA împotriva vectorilor avansați de atac

În contextul creșterii exponențiale a amenințărilor cibernetice și al utilizării unor vectori de atac tot mai sofisticăți, modelele tradiționale de securitate devin insuficiente pentru protejarea infrastructurilor informatice moderne. Zero Trust Network Access propune un cadru de securitate inovator, bazat pe principiul absenței încrederii implicite, care impune validarea continuă a identității și a contextului fiecărei solicitări de acces. Abordarea Zero Trust trebuie să acopere integral mediul digital al organizației, incluzând identitățile, terminalele, rețeaua, datele, aplicațiile și infrastructura. Principiile fundamentale sunt verificarea explicită, principiul celui

mai mic privilegiu și presupunerea permanentă a unei breșe de securitate. Identitățile, umane și non-umane, sunt autentificate riguros conform unor politici clare și continue, pe baza semnalelor precum rolul utilizatorului, conformitatea dispozitivului, locația și sensibilitatea resurselor accesate. Evaluările automate ale riscurilor permit reacții în timp real împotriva amenințărilor, iar politicile de acces sunt aplicate continuu pe parcursul sesiunii. Filtrarea și segmentarea traficului, criptarea și clasificarea datelor, controlul adaptiv al aplicațiilor și infrastructurii și optimizarea continuă a politicilor prin analiza telemetriei completează implementarea Zero Trust. [1] Prin implementarea unor mecanisme dinamice precum autentificarea multi-factor, evaluarea contextuală în timp real, micro-segmentarea rețelei și aplicarea politicilor de acces adaptive, ZTNA asigură o protecție granulară și reactivă împotriva atacurilor avansate. Această abordare permite detectarea timpurie și mitigarea eficientă a amenințărilor persistente, oferind un nivel ridicat de reziliență pentru mediile IT hibride și distribuite.

Protecția eficientă a resurselor informatice începe prin identificarea suprafeței de protejat (protect surface), care este definită în funcție de datele, aplicațiile, activele și serviciile critice – grupate sub acronimul DAAS:

- Date (Data): Ce date trebuie protejate în mod prioritar?
- Aplicații (Applications): Ce aplicații gestionează informații sensibile?
- Active (Assets): Care sunt cele mai valoroase și vulnerabile resurse ale organizației?
- Servicii (Services): Ce servicii pot fi exploatare de actori rău intenționați pentru a perturba funcționarea normală a infrastructurii IT?

Stabilirea precisă a acestei suprafețe de protejat permite focalizarea măsurilor de securitate asupra elementelor esențiale, fiind o abordare mai eficientă decât încercarea de a apăra întreaga suprafață de atac – care este în continuă expansiune și devine tot mai complexă. În cadrul unei politici de Zero Trust, traficul din jurul datelor și componentelor critice este reglementat prin definirea de microperimetre. La marginea fiecărui microperimetru se implementează un gateway de segmentare, care controlează accesul persoanelor și al datelor. Acest mecanism utilizează un firewall de nivel 7 și metoda Kipling pentru a evalua riguros cererile de acces. Un firewall de nivel 7 (Layer 7) analizează conținutul pachetelor de date pentru a identifica dacă acestea corespund unor tipuri de trafic permise. Dacă un pachet conține date care nu respectă regulile definite, accesul este blocat.

Odată identificate aceste elemente esențiale, rețeaua este compartimentată prin microsegmentare, creând zone izolate ce limitează expunerea și reduc riscul de propagare a amenințărilor în cazul unei breșe. Pentru a controla accesul în aceste microperimetre, se aplică politici stricte de verificare a identității, începând cu autentificarea multifactor (MFA). Aceasta solicită utilizatorilor să prezinte mai multe forme de autentificare, reducând semnificativ șansele ca un atacator să obțină acces neautorizat doar prin compromiterea unei parole.

În paralel, se impune verificarea terminalelor (endpoint verification), prin care fiecare dispozitiv care solicită acces este autentificat separat. Astfel, nu doar identitatea utilizatorului este verificată, ci și legitimitatea dispozitivului folosit. Instrumente precum UEM permit administratorilor să gestioneze centralizat toate terminalele, în timp ce soluțiile EDR oferă protecție proactivă împotriva amenințărilor la nivel de dispozitiv. Toate aceste măsuri sunt consolidate de aplicarea principiului accesului cu privilegii minime (least-privilege access), care restricționează accesul utilizatorilor și dispozitivelor doar la resursele strict necesare. Prin limitarea drepturilor, se reduce atât suprafața de atac, cât și volumul de date sensibile expuse, optimizând totodată utilizarea resurselor de securitate, inclusiv mecanismele MFA și cele de verificare a terminalelor. Astfel, fiecare componentă – de la microsegmentare la verificarea identității și a dispozitivelor – se integrează într-un sistem coerent, în care accesul este reglementat continuu și contextul fiecărei cereri este evaluat în mod dinamic, conform principiilor Zero Trust. [2-3]

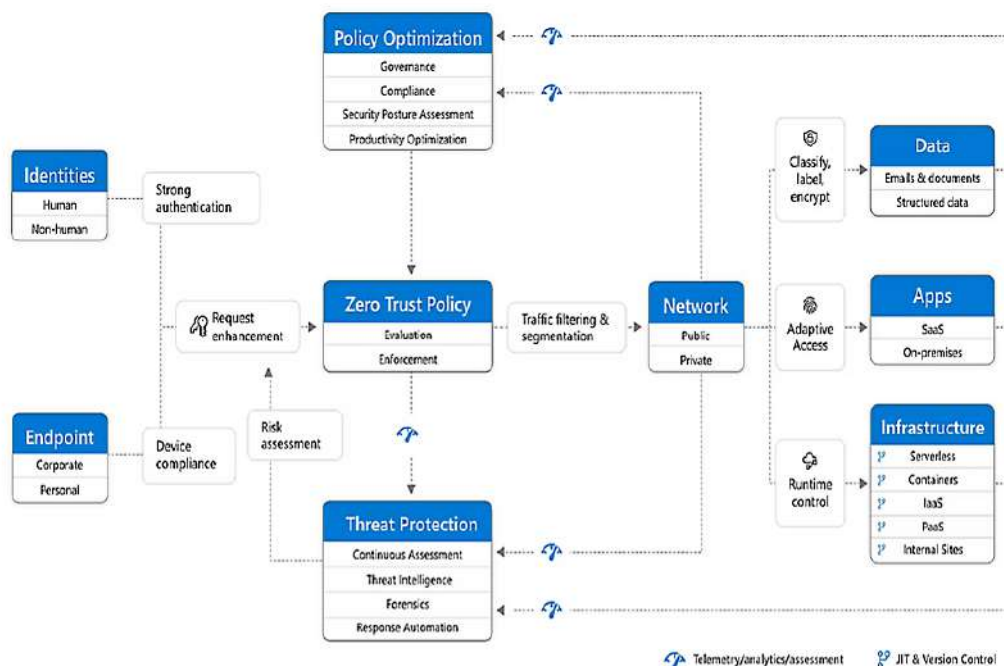


Figura 1. Arhitectura și principiul de funcționare ZTNA [1]

Evaluarea impactului arhitecturii ZTNA asupra performanței rezilienței cibernetice

Creșterea continuă a intensificării și diversificării amenințărilor cibernetice, capacitatea organizațiilor de a rezista, răspunde și recupera în urma atacurilor informatice – cunoscută sub conceptul de reziliență cibernetică – a devenit o prioritate strategică. Modelul Zero Trust Network Access se conturează ca o arhitectură de securitate adaptivă, capabilă să reducă drastic suprafața de atac prin eliminarea încrederii implicite și aplicarea controlului granular al accesului. Integrarea ZTNA în ecosistemul de securitate informatică nu doar că previne compromiterea inițială, dar contribuie esențial la menținerea continuității operaționale și atenuarea impactului în scenarii de atac avansat. Astfel, ZTNA devine un pilon fundamental în construcția unei reziliențe cibernetice robuste și proactive.

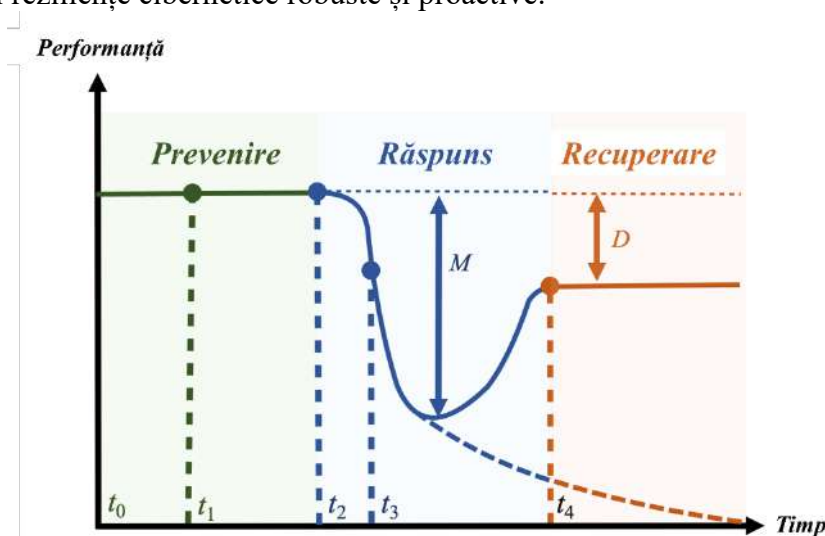


Figura 2. Evaluarea rezilienței unui sistem Zero Trust prin evoluția performanței în fața unui atac cibernetic [4]

Reziliența cibernetică presupune capacitatea sistemului de a preveni atacul, a răspunde în timpul atacului și a recupera funcționalitățile afectate ulterior acestuia. Un sistem Zero Trust este considerat rezilient dacă poate recupera performanțele inițiale într-un interval de timp $T=t_4-t_2$ cu o pierdere maximă de performanță D . În acest context, abordarea Zero Trust contribuie direct la consolidarea rezilienței prin implementarea unor mecanisme avansate care acoperă toate cele trei etape: prevenția, răspunsul și recuperarea.

În etapa de prevenție, modelul Zero Trust elimină presupunerea implicită că mediul intern este sigur, efectuând evaluări continue ale identităților și activităților utilizatorilor. Astfel, organizațiile identifică proactiv vulnerabilitățile, implementează controale stricte de securitate și dezvoltă planuri robuste pentru eventuale incidente.

În faza de răspuns, abordarea Zero Trust permite detectarea rapidă a activităților suspecte sau neautorizate prin monitorizarea constantă a comportamentului utilizatorilor și dispozitivelor. Sistemul evaluează în timp real semnalele primite și aplică imediat măsuri eficiente pentru limitarea și gestionarea atacului, reducând astfel impactul negativ asupra organizației.

În faza finală, cea de recuperare, soluțiile Zero Trust integrează automatizarea răspunsurilor, permițând restaurarea rapidă și eficientă a funcționalităților compromise. Aceste mecanisme automatizate sunt susținute de abordări analitice avansate, cum ar fi teoria jocurilor, asigurând astfel adaptarea rapidă și dinamică la noile amenințări identificate. [4]

Prin eliminarea încrederii implicite și aplicarea unui control strict al accesului la resurse digitale, ZTNA contribuie la optimizarea timpului mediu de detecție (MTTD) și a timpului de răspuns la incidente (MTTR), doi indicatori critici ai rezilienței cibernetică. În acest context, graficul liniar prezentat în figura 3 ilustrează evoluția progresivă a gradului de adoptare a modelului Zero Trust Architecture (ZTA) în perioada 2019–2024, corelată cu o reducere semnificativă a incidentelor de securitate informatică (data breaches) raportate în același interval. Conform datelor, procentul organizațiilor care au implementat ZTA a crescut de la 20% în anul 2019 la 65% în anul 2024. În paralel, numărul incidentelor de securitate a cunoscut o scădere cu 40%, reflectând o legătură cauzală între implementarea acestui model arhitectural și îmbunătățirea nivelului general de protecție cibernetică. [5-6]

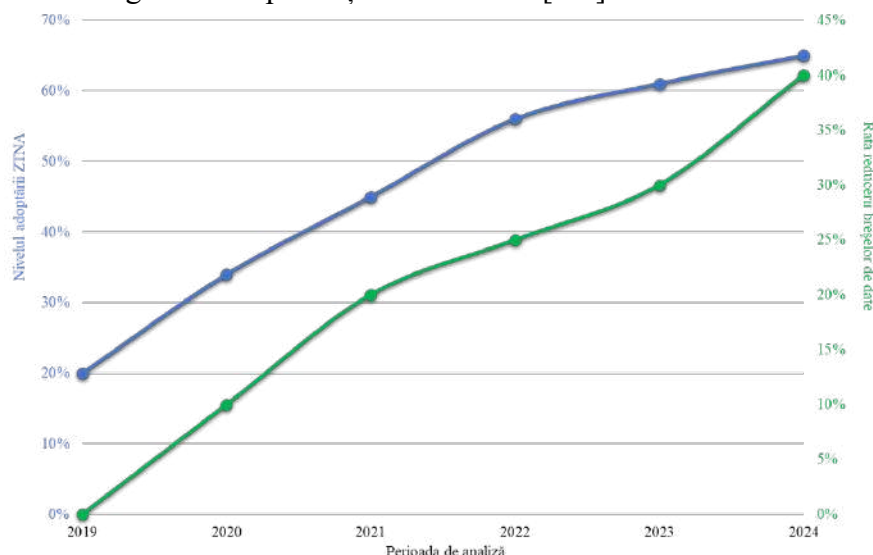


Figura 3. Impactul adoptării ZTNA în perioada anilor 2019 – 2024 asupra reducerii breșelor atacurilor cibernetice

Integrarea inteligenței artificiale în mecanismele de control distribuit și detecție adaptivă din cadrul arhitecturilor ZTNA

Integrarea inteligenței artificiale (AI) în cadrul arhitecturilor de tip Zero Trust Network Access (ZTNA) permite aplicarea unor mecanisme avansate de control al accesului și detecție a

amenințărilor în timp real. Prin eliminarea încrederii implicite și aplicarea principiilor de autentificare continuă, acces pe bază de privilegii minime și segmentare granulară, ZTNA devine un cadru optim pentru implementarea controalelor dinamice bazate pe date contextuale și comportamentale. Tehnologiile AI, în special machine learning și analiza comportamentală, sunt utilizate pentru identificarea devierilor față de comportamentele normale, prevenind accesul neautorizat și escaladarea laterală a atacurilor. Componentele funcționale includ un modul de identity and access management (IAM) cu autentificare biometrică și adaptivă, un sistem de endpoint detection and response (EDR) pentru monitorizarea conformității dispozitivelor, precum și un strat de monitorizare a rețelei integrat cu sisteme SIEM pentru corelarea evenimentelor de securitate. Într-o arhitectură distribuită, AI este implementată sub forma unor mecanisme de detecție autonomă a anomaliilor, unde fiecare nod de securitate analizează evenimente locale și generează actualizări de date. [7-8] Aceste date sunt transmise securizat către o platformă centralizată de analiză, unde sunt agregate și procesate pentru identificarea în timp real a potențialelor breșe. Pentru extinderea controlului granular asupra accesului la aplicații și date în medii multi-cloud, ZTNA se integrează cu soluții Cloud Access Security Broker (CASB), care intermediază conexiunile dintre utilizatori și aplicațiile SaaS/PaaS, aplicând politici de autentificare, criptare, prevenire a pierderii datelor (DLP) și control asupra descărcării sau partajării fișierelor. CASB oferă vizibilitate contextuală asupra activităților utilizatorilor în platformele cloud, permițând corelarea acestora cu politicile Zero Trust și aplicarea măsurilor de remediere în timp real. [9] În paralel, integrarea cu arhitecturi Secure Access Service Edge (SASE) permite convergența funcțiilor de network security (ZTNA, SWG, FWaaS, DLP) cu cele de WAN edge într-un serviciu unificat, livrat din cloud.[10] Prin ancorarea politicilor ZTNA în puncte de prezență (PoP) distribuite global, SASE asigură inspecția completă a traficului — inclusiv criptat — la marginea rețelei, în conformitate cu politicile identitare și de risc dinamic. Prin aceste capacități, AI consolidează semnificativ eficiența implementărilor ZTNA, oferind un cadru de securitate predictiv, autonom și adaptiv. Rezultatul este o reducere semnificativă a suprafeței de atac, o detecție anticipativă a amenințărilor și o capacitate îmbunătățită de a preveni accesul neautorizat, inclusiv în fața atacurilor avansate de tip APT, exploitărilor zero-day și comportamentelor malițioase interne.

Concluzii

În concluzie, adoptarea strategiei ZTNA reprezintă o necesitate esențială în contextul actual, marcat de creșterea rapidă și complexitatea tot mai mare a amenințărilor cibernetice. Această abordare oferă un cadru adaptiv prin care fiecare solicitare de acces este verificată și validată permanent, eliminând astfel încrederea implicită și reducând riscurile potențiale. Aplicarea principiilor Zero Trust permite monitorizarea continuă și gestionarea flexibilă a accesului, îmbunătățind capacitatea organizațiilor de a preveni și limita atacurile cibernetice într-un mod proactiv. Totodată, strategia Zero Trust contribuie semnificativ la creșterea rezilienței infrastructurilor informatice prin introducerea unor mecanisme automate, capabile să identifice și să răspundă rapid la incidentele de securitate. Datorită acestei abordări, organizațiile beneficiază de un nivel ridicat de protecție, adaptat continuu la schimbările și tendințele actuale ale amenințărilor cibernetice, menținând astfel integritatea și confidențialitatea resurselor digitale. Prin urmare, ZTNA reprezintă o strategie recomandată și oportună pentru organizațiile care urmăresc să asigure un nivel superior de securitate și să facă față eficient provocărilor impuse de dinamica și sofisticarea atacurilor cibernetice moderne. Aceasta nu doar că întărește protecția infrastructurilor și informațiilor critice, dar contribuie și la consolidarea unei culturi organizaționale bazate pe responsabilitate și vigilență continuă în domeniul securității informaționale.

Bibliografie

1. *Protect and modernize your org with a Zero Trust strategy*. Microsoft, ©2025 [citat 01.05.2025]. Disponibil: <https://www.microsoft.com/en-us/security/business/zero-trust>
2. *Zero Trust Security Model*. Fortinet, ©2025 [citat 01.05.2025]. Disponibil: <https://www.fortinet.com/resources/cyberglossary/what-is-the-zero-trust-network-security-model>
3. *ZTNA vs VPN - What's The Better Cybersecurity Solution?*. Fortinet, ©2025 [citat 01.05.2025]. Disponibil: <https://www.fortinet.com/resources/cyberglossary/ztna-vs-vpn>
4. *Zero-Trust Cyber Resilience*. Quanyan Zhu, Yunfei Ge, ©2023 [citat 02.05.2025]. Disponibil: <https://arxiv.org/html/2312.02882v1>
5. *2024 Cisco Cybersecurity Readiness Index*. Cisco, ©2024 [citat 03.05.2025]. Disponibil: https://newsroom.cisco.com/c/dam/r/newsroom/en/us/interactive/cybersecurity-readiness-index/documents/Cisco_Cybersecurity_Readiness_Index_FINAL.pdf
6. *Enhancing Enterprise Security with Zero Trust Architecture: Mitigating Vulnerabilities and Insider Threats through Continuous Verification and Least Privilege Access*. Mahmud Hasan, ©2023 [citat 04.05.2024]. Disponibil: <https://arxiv.org/pdf/2410.18291>
7. *Mitigating AI-Powered Cyberthreats With a Proactive ZTNA Security Strategy*. Paul Campaniello, ©2024 [citat 05.05.2025]. Disponibil: <https://www.appgate.com/blog/mitigating-ai-powered-cyberthreats-with-ztna-security>
8. *Zero Trust Architecture: A Key Component of Modern Cybersecurity Frameworks*. Sidharth Sharma ©2023 [citat 05.05.2025]. Disponibil: <https://philarchive.org/archive/SIDZTA>
9. *ZTNACASBProtectionfor SaaSApps*. Fortinet, ©2025 [citat 07.05.2025]. Disponibil: https://fortinetweb.s3.amazonaws.com/docs.fortinet.com/v2/attachments/f2e44070-1152-11ee-8e6d-fa163e15d75b/Zero_Trust_Network_Access-7.2.5-ZTNA_CASB_Protection_for_SaaS_Apps.pdf
10. *Modernizing the Network Security Stack with SASE and ZTNA*. Zach DeMeyer, ©2024 [citat 06.05.2025]. Disponibil: <https://www.todyl.com/blog/sase-zero-trust-network-access>

SATELLITE COMMUNICATION AND STARLINK: THE FUTURE OF GLOBAL CONNECTIVITY

Mihai DRAGAN

Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea de Electronică și Telecomunicații,
grupa TSRC-241, Chișinău, Moldova

Autor corespondent: Mihai Dragan, mihai.dragan@tse.utm.md

Scientific advisor **Lilia PORUBIN**, PhD, Department of Foreign Languages, TUM

Abstract. *This article examines the evolution of satellite communications with a focus on SpaceX's Starlink constellation and its impact on global connectivity. We review traditional satellite orbits and architectures, then analyze Starlink's deployment strategy, system design, and user terminals. Technical performance metrics—latency, bandwidth, reliability—are compared to geostationary and terrestrial networks. We discuss key innovations (phased-array antennas, laser inter-satellite links) and the operational challenges of space-debris management, spectrum regulation, and environmental considerations. Finally, we assess the societal and economic impacts of Starlink's network and outline future prospects for integrated terrestrial and non-terrestrial Internet services.*

Keywords: *satellite communications, Starlink, LEO constellation, laser inter-satellite links, phased-array antenna, digital divide*

Introduction

Since the launch of Telstar in 1962, satellites have facilitated long-distance telephony, television broadcasting, and remote sensing. Geostationary satellites (GEO), perched at ~35 786 km, cover up to one-third of Earth but suffer round-trip delays of ~500–600 ms, constraining real-time applications [16†L134-L140]. To overcome latency and coverage limitations, LEO constellations—with orbital heights <2 000 km—have emerged. In May 2019, SpaceX initiated Starlink's deployment, aiming to field tens of thousands of small satellites to deliver high-speed, low-latency broadband globally [3]. By March 2025, over 7 000 Starlink satellites were active, marking the largest Internet-focused constellation ever assembled [3].

Orbital Regimes and Their Trade-Offs

Satellites operate primarily in three regimes:

- **LEO (160–2 000 km):** Offers one-way latency as low as 20–40 ms, comparable to fiber, due to proximity to Earth's surface [16†L134-L140]. Coverage per satellite is limited, so constellations require hundreds to thousands of satellites for continuous global service [2].
- **MEO (2 000–35 786 km):** Provides moderate latency (100–200 ms) and wider coverage per satellite. Used traditionally for navigation (e.g., GPS at ~20 200 km) and emerging data networks.
- **GEO (~35 786 km):** Sits fixed relative to Earth's rotation, enabling constant coverage of large regions. However, the ~250 ms one-way signal delay impedes gaming, VoIP, and other real-time services [16†L134-L140].

Starlink's choice of ~550 km LEO orbits reduces latency dramatically (median ~33 ms during peak hours) and brings broadband to high latitudes and maritime routes unreachable by GEO services.

System Architecture

Starlink's architecture blends a space segment, ground segment, and user segment into a coordinated global mesh:

1. **Space Segment:** Modular, mass-produced satellites (~260 kg each for Gen 1; V2 Minis ~730 kg) equipped with Ku/Ka-band transceivers, Hall-effect thrusters for station-keeping, and—on newer units—200 Gbps laser inter-satellite optical links [5]. These crosslinks form a space-borne backbone, routing data around the globe without detouring via ground gateways, thus cutting latency by up to 50% on intercontinental paths [5].
2. **Ground Segment:** A network of globally distributed gateway stations uplinks user traffic into the constellation and downlinks traffic to the terrestrial Internet. Network Operations Centers orchestrate satellite health, collision avoidance, and dynamic beam scheduling [13].
3. **User Segment:** The Starlink “Dishy” is a flat-panel, electronically steered phased-array antenna. It automatically tracks satellites overhead without mechanical movement, achieving reliable two-way links of 50–220 Mbps download and 5–20 Mbps upload, with installation averaging 20 min [1].

This holistic design enables seamless handoffs between satellites as they cross the sky, ensuring continuous connectivity even at high latitudes.

Technical Performance

Starlink's LEO design yields performance metrics that rival terrestrial broadband:

- **Latency:** Median round-trip times of 25–40 ms on land; p99 (worst 1%) below 100 ms even during peak hours, versus ~600 ms for GEO Internet [1].
- **Throughput:** Average user download speeds of 90–147 Mbps in 2022 (first quarter) and consistent mid-double-digit Mbps uploads; beta tests document bursts approaching 220 Mbps down and 40 Mbps up [3].
- **Reliability:** Overlapping footprints from dozens of satellites provide redundancy; SpaceX reports >99.9% uptime in most regions, with automated rerouting via ground stations or optical links mitigating individual satellite or gateway outages [0†turn0search0].

Comparative studies show Starlink dramatically outperforms legacy VSAT providers (e.g., Viasat ~35 Mbps, latency ~700 ms) and narrows the gap with fiber and cable services—crucial for gaming, telemedicine, and financial services [3].

Key Innovations

Starlink's breakthrough stems from synergistic innovations:

- **Phased-Array Antennas:** Digital beamforming in both space and user terminals permits multi-beam operation and rapid steering without moving parts, enhancing durability and enabling mobile deployments (maritime, aeronautical) [4].
- **Laser Inter-Satellite Links (ISLs):** Optical crosslinks on Gen 2 and V3 satellites (each ~200 Gbps) establish a resilient mesh network above the atmosphere, reducing hop counts and latency on long routes by bypassing ground stations entirely [5].
- **Vertical Integration & Mass Production:** SpaceX's factory-scale satellite assembly and reusable Falcon 9 launches cut per-unit costs drastically—estimated US manufacturing cost ~\$200 000 per Gen 1 satellite, plus ~\$250 000–467 000 launch cost (60 sats per flight) [5] [spacenews.com].
- **Software-Defined Payloads:** On-orbit firmware updates enable new features (e.g., dynamic spectrum allocation, improved error correction) to be deployed fleet-wide without physical interventions.

These innovations combine to create a scalable, upgradeable network whose performance increases with each batch of newer satellites and ground enhancements.

Operational Challenges

Rapid constellation growth introduces significant challenges:

- **Orbital Debris & Collision Avoidance:** Thousands of satellites increase conjunction risks. Starlink has conducted over 50 000 collision-avoidance maneuvers (2024), yet analysts warn of cascading debris (Kessler syndrome) unless robust tracking and end-of-life deorbiting are maintained [5].
- **Spectrum & Regulatory Coordination:** International bodies (ITU, national regulators) must harmonize Ka/Ku-band allocations amid growing terrestrial 5G/6G deployments; each gateway and user terminal requires licensing, complicating rapid expansion [6].
- **Environmental & Astronomical Impact:** Frequent controlled reentries (lifespans <5 years) raise concerns about atmospheric deposition. Starlink's visors and darkening measures mitigate optical brightness, but astronomers still report sky-glow interference [7].
- **Network Dynamics:** Studies find variable throughput and intermittent outages in remote terrains due to terrain blockages, weather, and solar activity, highlighting the need for adaptive beamforming and gateway diversity.

Proactive mitigation—automated debris avoidance, coordinated spectrum sharing, and environmental monitoring—will be essential for sustainable mega-constellation operations.

Societal and Economic Impacts

Starlink's deployment delivers transformative benefits:

- **Bridging the Digital Divide:** Rural communities in Alaska, Africa, and island nations gain broadband for the first time, enabling e-learning, telehealth, and e commerce. The U.S. FCC's Rural Digital Opportunity Fund awarded Starlink \$885 million to serve remote areas [8].
- **Critical Communications:** In Ukraine, Starlink terminals restored Internet in conflict zones within hours, facilitating emergency response and civilian coordination [Reuters, May 2025]. Airlines (United, Hawaiian) have begun integrating Starlink for seamless in-flight Wi-Fi, offering 128 Mbps downlink at 30 000 ft [9].
- **Economic Growth:** Analysts project Starlink revenues of \$7–12 billion by 2025, stimulating jobs in manufacturing, launch operations, and ground-station construction. Competition from OneWeb, Amazon Kuiper, and Telesat Lightspeed is driving down prices and accelerating innovation.

However, equitable access hinges on affordable hardware and service fees; current terminal costs (~\$600–\$2 500) and subscription rates (\$110–\$500/month) remain prohibitive for some communities [10].

Future Outlook

Looking ahead, Starlink and similar networks will evolve along several fronts:

- **Second-Generation Constellations:** V2 Minis and V3 satellites (1 Tbps downlink, 160 Gbps uplink each) launched via Starship will multiply network capacity by 20× per flight compared to V2 Minis on Falcon 9.
- **Integration with 5G/6G:** 3GPP Rel-17/18 standards now include Non-Terrestrial Networks (NTN), enabling direct smartphone-to-sat links and seamless handover between terrestrial and satellite cells [10].

- **Deep-Space Networking:** Technologies proven in Starlink—FSO crosslinks, phased arrays—will seed cislunar and Mars Internet architectures, supporting NASA’s Artemis Gateway and future crewed missions.

Realizing this vision requires continued collaboration among space agencies, regulators, and private operators to ensure interoperability, safety, and sustainability in the final frontier.

Conclusion

SpaceX’s Starlink represents a paradigm shift in satellite Internet, achieving near-fiber latencies, multi-hundred-Mbps speeds, and global coverage through LEO mega-constellations. Its success rests on integrated innovations—reusable launch vehicles, mass-produced satellites, phased arrays, and laser crosslinks—all orchestrated by software-defined networks. While challenges of debris, spectrum management, and environmental impact persist, Starlink’s rapid iteration and scale promise to bridge digital divides, bolster emergency communications, and catalyze new markets. As terrestrial and non-terrestrial networks converge, the boundaryless Internet will reshape economies, societies, and the very notion of “connected.”

Bibliography

1. *Starlink Legal – Specifications and Performance*. SpaceX. Retrieved May 19, 2025, from <https://www.starlink.com/legal>
2. Ma, S.; Chou, Y. C.; Zhao, H.; Chen, L.; Ma, X.; Liu, J. (2022). *Network Characteristics of LEO Satellite Constellations: A Starlink-Based Measurement from End Users*. <https://arxiv.org/abs/2212.13697>
3. *Starlink Satellite Constellation*. Wikipedia. Retrieved May 19, 2025, from <https://en.wikipedia.org/wiki/Starlink>
4. Space com. (2022). *How SpaceX’s Starlink Maritime Launch Will Affect Cruise Lines...* <https://www.bittrue.com/blog/how-fast-is-starlink-internet-elon-musks-satellite-network-explained>
5. *Starlink Progress Report 2024*. SpaceX Updates. Retrieved May 2025, from <https://www.starlink.com/updates>
6. Business Insider. (2019). *SpaceX Is Outsourcing Starlink Satellite-Dish Production...* https://www.youtube.com/watch?v=nJ0MCMwyROk&ab_channel=MeteorologistNickStewart
7. CATERENCIUC, S. Methods of English terms formation in telecommunication field. In: *Journal of Social Sciences*, B+, Publishing House „Tehnica UTM”, Chișinău ,Vol 1, nr 2 (2018), pp. 36-38, 0,25 c.a., ISSN 2587-3490, eISSN 2587-3504.
8. CATERENCIUC, S. Linguistic and terminological units: word, term, concept. In: *Journal of Social Sciences*, B+, Publishing House „Tehnica UTM”, Chișinău ,Vol 1, nr1 (2018), pp. 17-19, 0,25 c.a., ISSN 2587-3490, eISSN 2587-3504.
9. PORUBIN, L.; CATERENCIUC, S. [English for Electronics and Telecommunication Engineering: manual](#), Chișinău, Editura „Tehnica-UTM”, 2025, ISBN 978-9975-64-502-7
10. PORUBIN, L.; JECHIU, A. *English for Power and Electrical Engineering Students*, Chisinau, „Tehnica-UTM”, 2022, ISBN 978-9975-45-787-3

METODOLOGII AVANSATE DE PROTECȚIE A CONȚINUTULUI ÎN CADRUL PLATFORMELEI OTT ÎN CONTEXTUL PROVOCĂRILOR DE SECURITATE

Victor SCLIFOS

Departamentul Tehnologii și Sisteme Electronice, MMRT 241, Facultatea Electronică și Telecomunicații,
Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

Îndrumător/coordonator științific: Lilia SAVA, lilia.sava@fet.utm.md, FET, UTM

Rezumat: Evoluția platformelor OTT (Over-the-Top) și a televiziunii digitale a impus necesitatea unor metodologii avansate de protecție a conținutului, având în vedere provocările tot mai complexe din domeniul securității cibernetice. În acest context, articolul analizează strategiile moderne utilizate pentru asigurarea integrității, confidențialității și disponibilității conținutului audiovizual, abordând aspecte precum gestionarea drepturilor digitale, watermarking-ul forensic, criptarea end-to-end și mecanismele avansate de autentificare și control al accesului. De asemenea, sunt evaluate riscurile asociate pirateriei digitale, atacurilor de tip man-in-the-middle, exploatării vulnerabilităților CDN și metodelor de evitare a restricțiilor. Printr-o perspectivă integrată asupra securității conținutului, studiul propune soluții adaptabile la peisajul tehnologic actual, asigurând un echilibru optim între protecția activelor media și experiența utilizatorului final.

Cuvinte cheie: OTT, DRM, token, CD, SSO

Introducere

Odată cu expansiunea rapidă a serviciilor OTT și a televiziunii digitale, securitatea conținutului media a devenit o provocare critică pentru furnizori și operatori. Creșterea exponențială a utilizatorilor, diversificarea dispozitivelor compatibile și utilizarea pe scară largă a rețelelor distribuite au dus la o expunere crescută la atacuri cibernetice sofisticate. Pirateria digitală și atacurile asupra infrastructurii de livrare a conținutului au evoluat semnificativ, exploatarea vulnerabilității atât la nivelul sistemelor de gestionare a accesului, cât și în infrastructurile de transport și stocare. În prezent, atacatorii utilizează tehnici avansate, precum interceptarea pachetelor de date prin atacuri de tip Man-in-the-Middle (MitM), clonarea și emularea dispozitivelor de acces, ingineria inversă asupra aplicațiilor client, exploatarea vulnerabilităților din rețelele de distribuție a conținutului (CDN) și atacurile asupra cheilor de criptare prin metode side-channel. Aceste provocări impun adoptarea unor soluții avansate de securitate, capabile să asigure integritatea, confidențialitatea și disponibilitatea conținutului digital. Prin mecanisme de protecție proactivă și tehnologii robuste, industria audiovizuală poate contracara aceste amenințări și asigura o distribuție securizată a conținutului pentru utilizatorii legitimi.

Arhitectura și fluxul operațional al tehnologiilor DRM în protecția conținutului media digital

Creșterea exponențială a utilizării mediilor digitale și avansul tehnologic contemporan au intensificat considerabil preocupările organizațiilor și ale indivizilor privind protecția drepturilor de autor. În prezent, un număr semnificativ de imagini, materiale video și fișiere audio protejate prin drepturi de autor sunt descărcate sau distribuite fără acordul prealabil al titularilor. În plus, instrumentele și tehnologiile moderne au facilitat conversia rapidă a conținutului media, în special a celui supus drepturilor de autor, în diferite formate digitale, favorizând astfel distribuția și portabilitatea acestuia. Acest proces, denumit în literatura de specialitate „ripping”, reprezintă

o provocare majoră în domeniul protecției proprietății intelectuale. O soluție tehnologică eficientă pentru combaterea acestui fenomen este reprezentată de implementarea tehnologiilor DRM („Digital Rights Management” – managementul drepturilor digitale).[1] Principiul DRM constă în criptarea conținutului media, astfel încât acesta să poată fi redat doar de dispozitive autorizate care au primit o licență specifică. În acest mod, furnizorii de conținut controlează accesul, previn redistribuirea neautorizată și asigură respectarea drepturilor de proprietate intelectuală. Procesul DRM implică criptarea inițială a conținutului video, gestionarea licențelor și validarea autenticității utilizatorului și a dispozitivului înainte de redarea efectivă a materialului solicitat (fig. 1). [2]

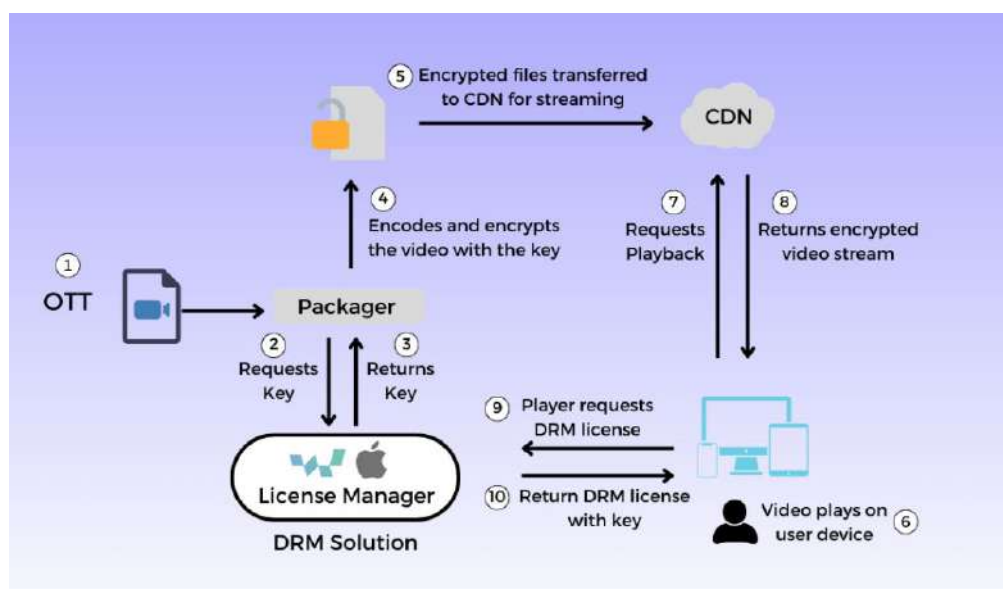


Figura 1. Principiul de funcționare DRM în cadrul platformelor OTT

În contextul managementului drepturilor digitale aplicat transmisiunilor OTT, conținutul digital este codificat și criptat cu ajutorul unei chei criptografice imediat după încărcarea acestuia pe platformă. Criptarea astfel realizată asigură protecția conținutului pe durata transferului dintre serverul platformei și dispozitivele clienților. În funcție de specificul platformei utilizate, criptarea poate avea loc înainte sau după inițierea fluxului de streaming. Cele două moduri principale ale algoritmului AES („Advanced Encryption Standard”) utilizate pentru criptarea conținutului video sunt modurile CTR („Counter Mode”) și CBC („Cipher Block Chaining”), acestea diferind prin modul de utilizare a cheilor criptografice și procedura de criptare propriu-zisă. Complexitatea criptării AES impune găsirea unui echilibru optim între timpul și efortul necesar criptării și nivelul dorit de securitate, acest echilibru devenind esențial mai ales în cazul transmisiunilor video live, care solicită procesare în timp real și implică volume crescânde de date, pe măsură ce industria se îndreaptă către calități superioare ale conținutului precum HD, 4K și HDR. În cadrul DRM, gestionarea cheilor criptografice joacă un rol fundamental. Cheia de criptare, numită „cheie privată”, trebuie stocată în condiții sigure într-o bază de date accesibilă exclusiv serverului de licențiere. În paralel, identificatorul cheii („KeyID”) joacă rolul unei „chei publice” care poate fi distribuită liber. Atunci când o entitate care deține cheia publică solicită serverului de licențiere accesul la cheia privată (utilizată pentru decriptare), revine furnizorului DRM sarcina de a autentifica această entitate înainte de a-i acorda sau respinge accesul la cheia privată.

Fluxul de lucru DRM poate fi conceptualizat în două componente principale interconectate: criptarea conținutului în procesul de împachetare și decriptarea acestuia la nivelul clientului. În prima fază, aplicația de împachetare („packager”) solicită sistemului DRM cheia necesară criptării, realizează criptarea conținutului folosind cheia furnizată și îl reorganizează

într-un format adecvat transmisiunii. Ulterior, clientul, după recepționarea conținutului criptat, va solicita sistemului DRM cheia necesară decriptării și implicit redării conținutului media. Serverul de licențiere din cadrul unui sistem DRM constituie elementul central responsabil pentru stocarea informațiilor necesare criptării și decriptării sigure a conținutului media. Acesta îndeplinește două funcții esențiale: asocierea cheii de licențiere cu fișierul media după finalizarea împachetării și criptării, respectiv autentificarea solicitărilor venite de la client în timpul redării pentru obținerea licenței și a cheii de decriptare. Serverul extrage cheia de decriptare din baza de date specifică și transmite clientului licența împreună cu cheia corespunzătoare pentru decriptare. De asemenea, serverele de licențiere DRM implementează politici detaliate și reguli precise privind modul în care conținutul poate fi consumat. Aceste politici pot varia în funcție de cerințele specifice, majoritatea sistemelor DRM permițând integrarea serverelor de licențiere cu soluții DRM comerciale și cu API-urile acestora, oferind astfel o flexibilitate ridicată în gestionarea drepturilor digitale. [3]

Mecanisme avansate de autentificare și management al accesului bazate pe soluții CIAM în infrastructura platformelor OTT

Creșterea numărului de utilizatori OTT a generat nevoia stringentă a implementării unor mecanisme avansate de autentificare și management al accesului. În acest context, soluțiile CIAM („Consumer Identity and Access Management”) devin esențiale pentru securizarea platformelor și pentru optimizarea experienței utilizatorilor. Adoptarea acestor soluții permite operatorilor OTT să asigure acces exclusiv abonaților legitimi, consolidând astfel încrederea utilizatorilor și securitatea platformei. Procesul de autentificare reprezintă identificarea și validarea identității utilizatorilor în vederea controlului accesului la conținut digital protejat. Metodele tradiționale de autentificare, bazate pe combinația nume de utilizator și parolă, devin insuficiente în contextul OTT, deoarece permit distribuirea necontrolată a credențialelor între utilizatori multipli. Acest fenomen conduce la pierderi financiare și la dificultăți în gestionarea eficientă a abonaților. În acest sens, autentificarea OTT prin soluții CIAM avansate, cum ar fi autentificarea multi-factor (MFA) sau autentificarea adaptivă, devine imperativă. Aceste metode avansate reduc considerabil riscul utilizării neautorizate și al furtului de identitate. În plus, integrarea acestor mecanisme cu soluții de management al accesului permite operatorilor OTT să controleze cu precizie drepturile și restricțiile utilizatorilor, sporind securitatea generală și îmbunătățind experiența utilizatorilor.[4] Integrarea unei soluții CIAM în arhitectura unei platforme OTT aduce beneficii multiple atât la nivel de securitate, cât și din perspectiva experienței utilizatorului. Printre acestea, Single Sign-On (SSO) joacă un rol crucial, permițând utilizatorilor accesul uniform și simplificat la toate proprietățile digitale ale unui furnizor, contribuind la percepția unei experiențe coerente și integrate. Totodată, managementul accesului în cadrul soluțiilor CIAM permite impunerea unor restricții clare și precise asupra conținutului disponibil utilizatorilor, în funcție de categorii specifice sau restricții de vârstă, sporind astfel nivelul general de securitate și protecția datelor personale.[5] Arhitectura tehnică utilizează principiile OAuth/OIDC pentru autentificarea și gestionarea centralizată a identităților. Utilizatorii, segmentați în categorii distincte, accesează interfețe front-end personalizabile pentru autentificare și consimțământ, integrate cu componente CIAM dezvoltate intern (profiluri, permisiuni, detectare amenințări) și servicii CIAM externe (autentificare avansată, social login, audit). Solicitățile OAuth/OIDC sunt procesate prin endpoint-uri centralizate care delegă operațiunile critice către platforma externă de verificare, aceasta gestionând autorizările și token-urile fără a expune datele utilizatorilor. În paralel, sistemul comunică cu alte servicii ale furnizorului (CRM, Analytics, Email) și integrează eficient terți (media, comerț electronic, comunități) conform standardelor CIAM moderne. Astfel, arhitectura garantează securitate, flexibilitate și interoperabilitate în fluxurile de autentificare și autorizare (fig.2). [6]

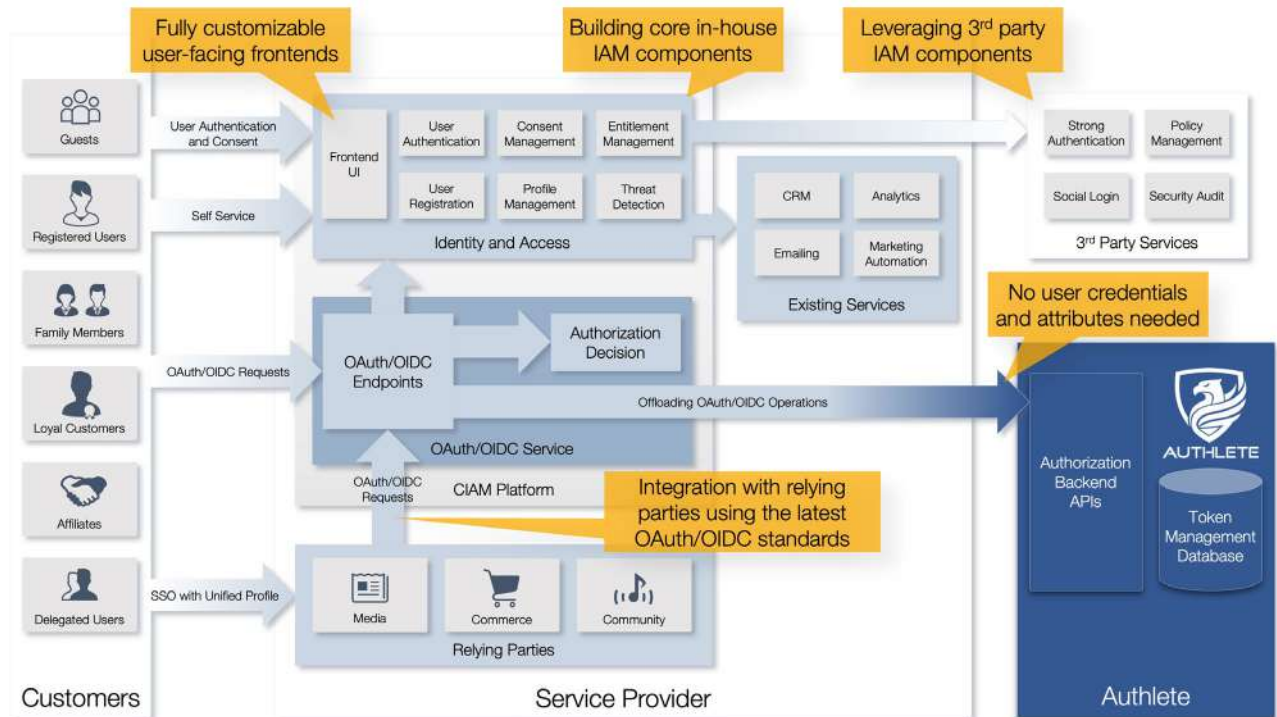


Figura 2. Principiul de aplicabilitate CIAM în contextul protecției accesului către conținutul media

Utilizarea inteligenței artificiale în protecția avansată a serviciilor OTT

În cadrul serviciilor OTT, inteligența artificială (IA) joacă un rol critic în asigurarea integrității și respectării drepturilor de autor prin implementarea unor algoritmi avansați bazați pe machine learning și deep learning. Principiul tehnic de funcționare implică procesarea în timp real a fluxurilor multimedia (audio/video) și a metadatelor aferente, utilizând tehnologii specializate, cum ar fi fingerprinting digital și modele predictive antrenate pe seturi extinse de date. Amprelele digitale extrase din fluxurile media sunt comparate automat și rapid cu baze de date centralizate și actualizate continuu, facilitând detectarea proactivă a conținutului protejat încărcat ilegal sau distribuit fără drepturi corespunzătoare. Tehnologiile IA implicate includ analiză spectrală audio și video, algoritmi de hashing perceptual și rețele neuronale convoluționale specializate, care permit identificarea și clasificarea precisă a conținutului multimedia pe baza unor trăsături complexe extrase automat. [7] Totodată, sistemul utilizează procese avansate de matching, capabile să detecteze asemănări sau variații subtile ale conținutului original, chiar și în condițiile modificării sau recomprimării acestuia. Astfel, mecanismele IA asigură identificarea exactă a conținutului protejat, chiar dacă acesta a fost supus unor transformări digitale avansate. Pentru a se adapta continuu, algoritmi beneficiază de procese de reantrenare periodică, încorporând noi seturi de date și scenarii emergente, pentru a anticipa eficient noile amenințări și tactici de distribuire ilegală a conținutului digital. Prin integrarea acestor procese complexe într-o infrastructură tehnologică scalabilă și redundantă, platformele OTT mențin astfel un standard ridicat de securitate, asigurând în permanență protecția drepturilor de autor și respectarea integrității proprietății intelectuale. [8]

Concluzii

În contextul evoluției rapide a tehnologiilor OTT și a televiziunii digitale, implementarea unor metodologii avansate de protecție a conținutului devine o necesitate stringentă, determinată de complexitatea și amploarea provocărilor de securitate actuale. Analiza realizată evidențiază faptul că mecanismele convenționale de securizare a transmisiilor și conținutului digital nu mai sunt suficiente în fața sofisticării tehnicilor moderne de piratare și acces neautorizat. Astfel, adoptarea tehnologiilor emergente, cum ar fi criptarea avansată, managementul robust al

drepturilor digitale (DRM), utilizarea algoritmilor adaptivi de autentificare și integrarea inteligenței artificiale pentru detectarea proactivă a amenințărilor, devin imperative pentru asigurarea confidențialității, integrității și disponibilității conținutului digital distribuit prin platformele OTT și televiziunea digitală. De asemenea, se remarcă importanța implementării unui cadru continuu și adaptiv de evaluare, revizuire și optimizare a strategiilor de securitate, proiectat să identifice proactiv și să contracareze eficient amenințările emergente, asigurând astfel consolidarea rezilienței platformelor digitale, sporirea nivelului de încredere a utilizatorilor și menținerea competitivității într-un ecosistem digital marcat de dinamism accentuat și riscuri cibernetice complexe.

Bibliografie

1. *What is DRM Protection Technology, its Working & Types for Media*. Vishal Sharma, ©2025 [cit 05.05.2024]. Disponibil: [What is DRM Protection Technology, its Working & Types for Media - VdoCipher Blog](#)
2. *What Is Digital Rights Management (DRM)?*. Fortinet, ©2025 [cit 05.05.2024]. Disponibil: <https://www.fortinet.com/resources/cyberglossary/digital-rights-management-drm>
3. *Understanding OTT DRM for hassle free Implementations*. Vishal Sharma, ©2025 [cit 05.05.2024]. Disponibil: <https://www.vdocipher.com/blog/ott-drm/>
4. *Why Should You Use OTT Authentication in Your Lead Generation Funnel?*. Vishal Sharma, ©2022 [cit 06.05.2024]. Disponibil: <https://www.loginradius.com/blog/growth/ott-authentication-boost-lead-generation-2022/>
5. *What Is CIAM? Customer Identity And Access Management*. Fortinet, ©2025 [cit 06.05.2024]. Disponibil: <https://www.fortinet.com/resources/cyberglossary/what-is-ciam>
6. *CIAM (Customer Identity and Access Management)*. Authlete, ©2025 [cit 06.05.2024]. Disponibil: <https://www.authlete.com/solutions/ciam/>
7. *How AI is Empowering the OTT Platforms to Revolutionise the content delivery*. Nasscom, ©2023 [cit 08.05.2024]. Disponibil: <https://community.nasscom.in/communities/media-technology/how-ai-empowering-ott-platforms-revolutionise-content-delivery>
8. *The Future of AI in OTT Streaming: How Artificial Intelligence is Transforming the Industry*, Matjaz Bevk, ©2025 [cit 09.05.2024]. Disponibil: <https://www.uniqcast.com/ott-iptv/ai-ott-streaming-future-2025>

SISTEME ANTI-GPT ȘI DETECTAREA TEXTELOR GENERATE DE INTELIGENȚA ARTIFICIALĂ (IA)

Nelea MANIN

Departamentul Telecomunicații și Sisteme Electronice, grupa IMTC-231, Facultatea Electronică și
Telecomunicații, Universitatea Tehnică a Moldovei, or. Chișinău, Republica Moldova

Autorul corespondent: Nelea Manin, nelea.manin@tse.utm.md

Îndrumătorul/coordonatorul științific: **Andrei DOROGAN**, lect. univ., dr.,
Universitatea Tehnică a Moldovei

Rezumat. Odată cu dezvoltarea rapidă a tehnologiilor de inteligență artificială (IA), care au transformat diverse aspecte ale vieții, a apărut necesitatea de a elabora și implementa sisteme anti-GPT și anti-AI capabile să diferențieze textul scris de om de cel generat de inteligența artificială. Principalele cauze sunt utilizarea neetică a modelelor lingvistice generative și popularizarea informațiilor eronate. Această lucrare reprezintă un studiu al sistemelor anti-GPT și anti-AI oferite cu acces liber pentru utilizatori. Pentru a estima eficiența acestor sisteme sau utilizat metode de bypass (de ocolire), cum ar fi parafrizarea, hibridizarea textului generat de inteligența artificială cu scrieri umane și generarea textelor tipice scrierii în stilul unui autor. Sunt descrise aplicațiile software, provocările și consecințele utilizării acestor sisteme, importanța pentru micșorarea surselor informaționale de neîncredere.

Cuvinte cheie: sisteme anti-GPT, plagiatul IA, AIGC, metode bypass.

Introducere

În ultimii ani, în condițiile de globalizare a informației, se atestă o evoluție rapidă a domeniului tehnologic și anume a utilizării intensive a inteligenței artificiale (IA), care transformă diferite aspecte ale vieții. Apariția sistemului ChatGPT ca un model AIGC (AI-Generated Content) major a oferit soluții de înaltă calitate într-o gamă largă de aplicații (inclusiv dezvoltarea și întreținerea de software, text, cod, imagini, etc.) [1].

Popularizarea rapidă a fost cauzată de liberul acces la aceste tehnologii, cum ar fi platforme online și interfețe clare pentru utilizator și de performanța acestor modele. Însă, acest fapt a generat cu o serie de probleme legate de plagiat, integritate academică și drepturile de autor. Textele generate de inteligența artificială (IA) au un stil asemănător celui uman, depistarea acestora fiind deficilă. Dezvoltarea și implementarea sistemelor capabile să detecteze informația generată de inteligența artificială (IA) devine o necesitate. Sistemele anti-GPT au un rol important în găsirea acestor surse pentru creșterea veridicității conținutului scris.

Scopul lucrării este analiza funcționării modelelor IA generative, mecanismelor de generare a informației, metodelor curente de detectare a conținutului generat de IA și soluțiilor utilizate pentru ocolirea sistemelor de detecție.

Modul de funcționare al sistemelor anti-GPT

Pentru a depista textele generate de inteligența artificială sunt utilizate sisteme anti-GPT și anti-AI. Acestea reprezintă modele lingvistice realizate pentru a detecta și diferenția sursele generate de inteligența artificială (IA) și cele create de oameni. Ele sunt bazate pe algoritmi care analizează și compară textul dat cu o bază de date formată din texte generate de IA, astfel găsind asemănări dintre aceste texte, sau pe modele de învățare automată care identifică aceleași structuri ca și în modelele lingvistice de mari dimensiuni (LLM), cum ar fi ChatGPT, Gemini, Claude etc.

Textele generate de IA posedă caracteristici specifice pe care sistemele de detectare bazate pe pattern-uri (tipare) le pot găsi în rezultatul analizei structurii, sintaxei și vocabularului utilizat. Caracteristicile specifice care diferențiază textele generate de IA de cele scrise de oameni sunt:

- utilizarea frecventă a anumitor cuvinte;
- repetarea propozițiilor cu aceeași esență;
- lipsa continuității ideii;
- structurarea conținutului în liste.

Un alt mod de identificare a textelor plagiate este utilizarea sistemelor anti-GPT și anti-AI pe baza algoritmilor de Machine Learning (învățare automatizată). Machine Learning reprezintă programarea calculatoarelor și învățarea automatizată cu scopul optimizării unui criteriu de performanță folosind date pentru antrenare sau experiența anterioară [2]. În calitate de bază pentru analiză, aceste modele utilizează blocuri de date masive formate din mai multe tipuri de texte scrise de oameni și de diferite modele lingvistice ale inteligenței artificiale. Aceste modele permit diferențierea celor două tipuri de scrieri. Iată câteva tehnici utilizate de modele cu învățare automatizată (ML):

- BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) – dezvoltat de Google AI, reprezintă o rețea neuronală profundă, care utilizează o arhitectură bazată pe transformatoare de date, concepută pentru a gestiona dependențele pe termen lung în date secvențiale, de exemplu textul în limbajul natural (NLP) [3];
- RoBERTa (Robustly Optimized BERT Pretraining Approach) – realizată de cercetătorii de la Facebook (Meta AI), reprezintă o extensie a modelului de procesare BERT [3].

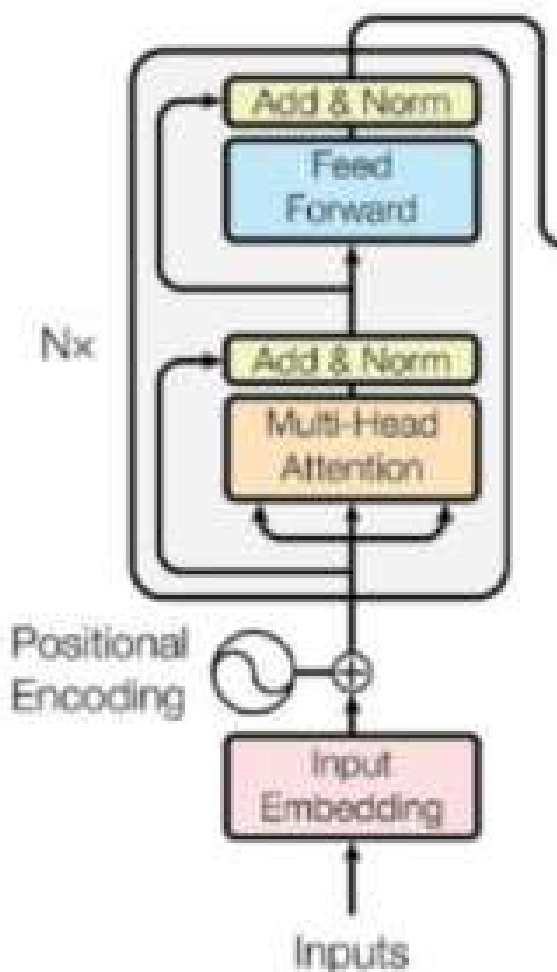


Figura 1. Structura modelului BERT [5]

Depistarea plagiatului în contextul inteligenței artificiale (IA)

Cea mai mare problemă rezultată din apariția inteligenței artificiale este depistarea plagiatului, care constă nu doar din conținuturi existente scrise de oameni, dar și din texte generate de IA, folosite cu statut de scriere personală (originală). Această provocare a perpetuat plagiatul la un nou nivel, astfel încât apar ambiguități referitoare la originalitatea lucrării și veridicitatea informației. Plagiatul clasic este „activitatea prin care cineva își însușește prin copiere, parafrizare sau rezumare o idee, prezentând-o drept proprie, fără a menționa explicit sursa, autorul la care a apelat” [4]. Plagiatul IA diferă de cel clasic prin faptul că autorul sursei generate este un model lingvistic bazat pe algoritmi. Însă detectarea acestuia necesită instrumente speciale care evoluează odată cu apariția noilor modele ce generează texte în stilul uman.

Pentru a spori nivelul detectării plagiatului în contextul IA, dezvoltatorii integrează în sistemele anti-GPT și anti-AI baze de date de referință, care conțin un volum mare de lucrări științifice, academice, articole, cărți etc. Rezultatul acestei implementări reprezintă un raport, în care sunt evidențiate atât ideile sau informațiile preluate fără citare, cât și textele generate de mașini. Utilizarea acestor sisteme contribuie la micșorarea publicării surselor cu un nivel scăzut de încredere.

Totodată, au fost elaborate tehnici care pot să ocolească sistemele anti-GPT, anti-AI și detectarea textelor generate de inteligența artificială, numite metode de bypass ale acestor sisteme. Obiectul de bază a acestora este de a transforma informația generată de mașini în una similară cu cea scrisă de om. Tehnicile utilizate pentru ocolirea sistemelor sunt:

- Parafrizarea – schimbarea structurii textului prin folosirea sinonimelor și reformularea frazelor;
- Hibridizarea – amestecarea textului scris de om cu cel creat de modelul lingvistic;
- Dubla traducere a textului generat de mașini;
- Modele IA specifice cu stil de scriere similar celui scris de un scriitor;
- Utilizarea intenționată a erorilor gramaticale sau sintactice.

Studii de caz și aplicații practice

Pentru a analiza buna funcționare a sistemelor anti-GPT și anti-AI, cum ar fi Zerogpt.com, a fost generat un text cu ajutorul ChatGPT sau Gemini, care a fost testat cu fiecare sistem. Ulterior, au fost analizate rezultatele în funcție de fiecare metodă de bypass.

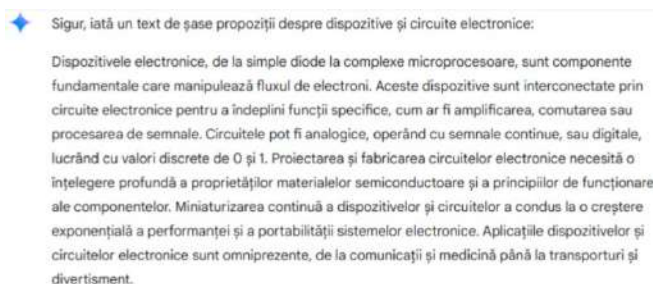


Figura 2. Text aleatoriu generat de Gemini AI

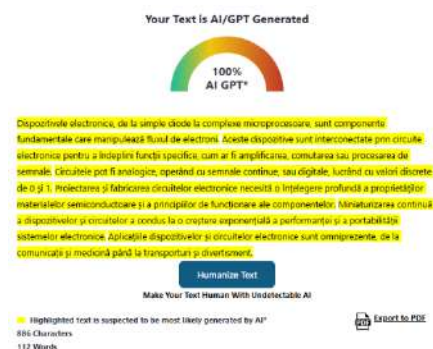


Figura 3. Rezultatul analizei textului cu ajutorul Zerogpt.com

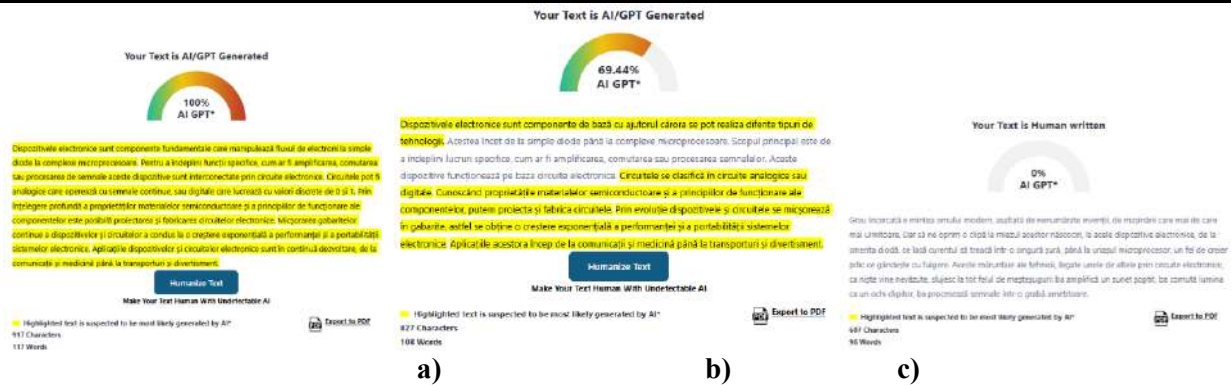


Figura 4. Rezultatul analizei textului cu ajutorul Zerogpt.com:
a) după parafrizare; b) după hibridizare; c) după analiza textului scris în stil uman

Figurile 3, 4a, 4b și 4c reprezintă rezultatul analizei unui text generat de inteligența artificială (IA) cu aplicarea metodelor de bypass. După cum putem observa la introducerea textului generat de IA fără modificări el a etichetat informația ca fiind 100% este scrisă de mașină. La utilizarea parafrazării am obținut același rezultat. Pentru tehnica de hibridizare, acest sistem a etichetat doar 69,44% AI GPT, ceea ce denotă faptul că Zerogpt.com nu poate detecta cu precizie înaltă acest tip de bypass. După generarea unui text în stilul uman, sistemul a fost ocolit, oferind un rezultat de 0% AI GPT. De aici rezultă, că Zerogpt.com are o bază de date, care conține informații din domeniul științific, iar din celelalte mai puține sau chiar deloc. Sistemul analizat în studiul de caz ar putea fi folosit în instituțiile de învățământ pentru depistarea lucrărilor sau răspunsurilor scrise de inteligența artificială (IA).

Tehnica de bypass cea mai utilizată este dubla traducere a textului. De exemplu, textul generat în română este tradus în engleză cu un instrument de traducere, apoi din nou tradus în română cu un alt instrument de traducere. Această tehnică schimbă semnificativ toate criteriile după care se conduc sistemele anti-GPT și anti-AI pentru detectarea textului generat de IA.

Consecințele utilizării acestor tehnici sunt următoarele:

- În învățatură: obținerea notelor necorespunzătoare cunoștințelor reale a elevilor, scăderea nivelului de cunoștințe și de învățare;
- În industria media: dezinformarea publicului;
- În publicații științifice: publicarea rezultatelor care nu pot fi dovedite practic.

Provocări și limitări actuale

Dezvoltarea continuă a modelelor IA, care devin din ce în ce mai avansate, conduce la un șir de provocări pentru sistemele anti-GPT și anti-AI. Modelele AI avansate pot să genereze texte care respectă cu strictețe regulile gramaticale, au o coerență logică și creează structuri clare. Din cauză că textul produs este ordonat și coerent este dificil de a detecta caracteristicile tipice ale generării IA, care au repetiții sau lipsă de stil uman. O limitare crucială a sistemelor anti-GPT este obținerea unui rezultat ca rata de fals pozitiv și rata de fals negativ. Un fals pozitiv reprezintă un text scris de un om, dar identificat incorect ca fiind generat de AI, ceea ce poate avea consecințe negative, în special în domeniul academic sau profesional. Pe de altă parte, un fals negativ are loc când un text generat de AI nu este detectat, astfel fiind un plagiat neobservat.

Concluzii

Noile tehnologii, cum ar fi modele lingvistice de inteligență artificială (ChatGPT, Gemini, etc.), prezintă atât beneficii, cât și neajunsuri. Partea pozitivă este facilitarea muncii și economisirea timpului, iar cea negativă constă în popularizarea informațiilor eronate, utilizarea textelor generate automatizat în calitate de scriere proprie, etc. Aceasta a contribuit la necesitatea dezvoltării sistemelor anti-GPT și anti-AI capabile să diferențieze sursele scrise de om de cele

generate de mașini, care nu sunt atât de performante și capabile să realizeze detecția dacă sunt utilizate metode de bypass, ceea ce implică vulnerabilități cu impact major în toate domeniile.

Pentru a combate utilizarea neetică a inteligenței artificiale generative și pentru a promova integritatea în era informației digitale trebuie dezvoltat în continuare performanța acestor sisteme.

Bibliografie

1. ARSLAN AKRAM. An Empirical Study of AI Generated Text Detection Tools, 2023, doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2310.01423>
2. MACHINE LEARNING [R17A0534] LECTURE NOTES. Disponibil online: [https://mrcet.com/downloads/digital_notes/CSE/IV%20Year/MACHINE%20LEARNING%20\(R17A0534\).pdf](https://mrcet.com/downloads/digital_notes/CSE/IV%20Year/MACHINE%20LEARNING%20(R17A0534).pdf) (accesat la 12.05.2025)
3. GABRIELA GUAQUIERE; ANNA NGUYEN THANH SON, RoBERTa vs BERT for intent classification. Disponibil online: <https://openreview.net/pdf?id=Nbaf-YCVRea> (accesat la 12.05.2025)
4. GHIDUL ÎMPOTRIVA PLAGIATULUI. Disponibil online: <https://turca.ils.unibuc.ro/wpcontent/uploads/2014/12/Ghid-impotriva-plagiatului.pdf> (accesat la 12.05.2025)
5. HAO WANG; JIANWEI LI, ZHENGYU LI, AI-Generated Text Detection and Classification Based on BERT Deep Learning Algorithm, 2024, doi: 10.48550/arXiv.2405.16422

STUDIUL GESTIONĂRII TIMPULUI ÎN CADRUL ACTIVITĂȚII DIDACTICE

Arina MOISEI^{1*}, Dumitru PALAMARCIUC²

¹ Departamentul Telecomunicații și Sisteme Electronice, grupa IMTC-231, Facultatea Electronica și Telecomunicații, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

² Departamentul Telecomunicații și Sisteme Electronice, grupa RST-232, Facultatea Electronica și Telecomunicații, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

*Autorul corespondent: Arina Moisei, e-mail arina.moisei@tse.utm.md

Îndrumătorul/coordonatorul științific: **Serafima SOROCHIN**, lector asistent, Departamentul Telecomunicații și Sisteme Electronice, UTM

Rezumat. În prezent, timpul este una dintre cele mai valoroase și rare resurse pe care le avem. De asemenea, este cauza uneia dintre cele mai frecvente probleme - lipsa de timp, sau mai exact, incapacitatea de a-l gestiona corect. Scopul studiului este înțelegerea cauzelor lipsei de timp, cum ar fi lipsa unei distribuirii clare a sarcinilor, graba, lipsa de motivație, agitația și altele, și analiza soluțiilor pentru rezolvarea acestei probleme în contextul didactic, cum ar fi limitarea timpului petrecut în fața ecranului și utilizarea diferitelor metode de distribuire a sarcinilor pentru a spori eficiența acestora. Metodologia aleasă a fost studiul și analiza literaturii științifice pe această temă, din surse online și articole, pe baza cărora s-au tras concluzii. Principalele rezultate ale studiului au fost identificarea celor mai eficiente metodologii de gestionare a timpului, cum ar fi „Matricea Eisenhower” și „O sarcină într-un interval de timp”, și identificarea modalităților de eliminare a factorilor perturbatori, printre care structurarea, prioritizarea și planificarea. Aceste rezultate conduc la concluzia că, pentru a ne îndeplini cât mai eficient obligațiile de serviciu și personale, este necesar să ne gestionăm corect timpul și resursele. În acest caz, viața va fi una împlinită și bogată, iar un volum mare de muncă nu va afecta negativ calitatea vieții, prevenind probleme precum anxietatea constantă, lipsa de somn și alte consecințe.

Cuvinte cheie: timpul, organizare, metode de gestionare, eficiența.

Introducere

Lumea modernă evoluează cu o viteză uluitoare, iar oamenii sunt din ce în ce mai des nevoiți să combine mai multe sarcini simultan. Pare că acest lucru crește viteza de execuție a sarcinilor, dar, în realitate, duce la scăderea productivității, atenției, concentrării și reduce rezultatele muncii. În viitor, multitasking-ul poate provoca probleme de memorie din cauza supraîncărcării constante a creierului [1]. Distribuirea corectă a timpului pentru sarcinile de lucru a devenit o abilitate esențială, care asigură nu doar o înaltă calitate a muncii efectuate, ci și reduce stresul psihologic, ceea ce este atât de important într-o lume în continuă schimbare.

Timpul este principala resursă nerecuperabilă a omului, care influențează toate aspectele vieții sale [2]. De aceea, este atât de important să învățăm să gestionăm timpul corect și eficient.

Distribuirea corectă a timpului include controlul și echilibrul și constă în 3 componente esențiale [3]:

- Prioritizarea (determinarea importanței, a complexității și a urgenței sarcinii înainte de a o executa);
- Planificarea (cât timp va dura executarea sarcinii și când e mai bine să fie executată);
- Structurarea (urmărirea rezultatelor și a executării corecte a sarcinii).

Aceste componente sunt fundamentul managementului timpului și pe baza lor se construiește o mare varietate de metode de distribuire a timpului. Cu toate acestea, înainte de a utiliza diferite tehnici de organizare a timpului, este important să analizăm principalele cauze ale lipsei de timp, care duc la o execuție ineficientă a sarcinilor activității didactice.

Cauzele lipsei de timp

Problema lipsei de timp este o problemă omniprezentă, care apare neapărat pentru că o zi are doar 24 de ore, ci din cauza incapacității de a distribui corect aceste ore. În activitatea didactică există mai multe cauze principale, care pot fi împărțite în interne și externe.

Cauzele externe sunt legate de influența lumii exterioare și nu depind de persoană. Printre cauzele externe se pot număra acumularea de sarcini, cauzată de incapacitatea de a delega sarcini minore, schimbul ineficient de informații și motivația slabă a muncii [4].

Cauzele interne depind de calitățile și caracteristicile personale ale cadrului didactic, cum ar fi caracterul, autodisciplina etc. Printre cauzele interne se numără graba constantă, agitația, lipsa odihnei și a somnului de calitate, care influențează negativ productivitatea [5].

De asemenea, printre principalele cauze ale lipsei de timp se numără așa-numiții „hoți de timp”, care sunt chestiuni neprevăzute, cum ar fi apelurile telefonice, vizitatorii neinvitați sau cererile altora [4]. Astfel de lucruri necesită mult timp și distrag atenția de la sarcinile principale.

Problemele enumerate mai sus au o mare influență asupra productivității, iar incapacitatea de a le elimina duce la o muncă ineficientă și la lipsa unor rezultate semnificative. Există numeroase metode de combatere a cauzelor deficitului de timp, iar în continuare vor fi analizate cele mai eficiente tehnici pentru activitatea didactică.

Metode de gestionare a timpului

Varietatea metodelor de managementul timpului permite alegerea celor mai eficiente moduri de distribuire a timpului, în funcție de tipul de activitate și preferințe.

Deoarece activitatea didactică implică un număr mare de sarcini diferite, atât profesionale, cât și personale, una dintre cele mai eficiente metodologii este matricea timpului, cunoscută și sub numele de matricea Eisenhower [6].

Tabelul 1

Matricea Eisenhower

	Urgent	Non-urgent
Important	1-Aduce rezultate semnificative și necesită atenție imediată. <i>Ex.: Situații critice, probleme urgente, proiecte.</i>	2- Baza managementului personal eficient. <i>Ex.: Planificare, refacerea forțelor, stabilirea de legături, căutarea de noi oportunități.</i>
Neimportant	3- Urgența acestor sarcini se bazează adesea pe prioritățile și așteptările altor persoane. <i>Ex.: Apeluri telefonice de serviciu, mesaje, verificarea e-mailului.</i>	4- Duc la o pierdere totală de timp și nu aduc niciun folos. <i>Ex.: Apeluri personale, navigare pe rețelele sociale.</i>

Sarcinile urgente ne cer acțiuni imediate, dar de foarte multe ori se dovedește că ele sunt neimportante. Sarcinile importante au o legătură directă cu rezultatele, ele ne cer inițiativă și activitate.

Oamenii eficienți își concentrează atenția pe cadranele 1 și 2, încercând în același timp să minimizeze numărul de sarcini din cadranul 1 și să delege sau să elimine sarcinile din cadranele 3 și 4, ceea ce permite concentrarea pe rezultate și evitarea risipirii timpului și a resurselor pe sarcini neimportante, care nu aduc beneficii.

Această metodă este cea mai potrivită pentru lideri și pentru posturile care necesită combinarea unui spectru larg de responsabilități.

Productivitatea muncii are de suferit deoarece persoanele își pierd concentrarea, distrăgându-se cu alte activități, oameni din jur sau gadgeturi. Comutarea între sarcini duce la o scădere a concentrației, la o calitate mai slabă a muncii și la o creștere a timpului petrecut [7]. Metoda “un singur lucru într-un interval de timp”, stă la bază “metodei Pomodoro”, care a fost propusă pentru prima dată de Francesco Cirillo și sugerează abordarea acestei probleme prin introducerea de intervale de timp de 30 de minute [8,9], unde 25 de minute, timp în care creierul poate asimila informații în mod productiv, sunt dedicate unei singure sarcini, iar celelalte 5 minute sunt alocate unei odihne de calitate. Cu o astfel de divizare, activitatea cerebrală are loc uniform, fără suprasolicitare, ceea ce permite îndeplinirea eficientă a sarcinilor de lucru, menținând în același timp sănătatea mentală și fizică. În plus, această tehnică permite divizarea unei sarcini mari în sarcini mai mici, ceea ce sporește motivația și reduce tendința de procrastinare.

Metoda Pomodoro poate fi adaptată la tipul de activitate specific, de exemplu, în lucrul cu oamenii în timpul procesului educațional, poate fi dificil de alocat 25 de minute complete pentru o singură sarcină, caz în care ar trebui să fie alese intervale de 10 sau 15 minute, ceea ce va permite acordarea timpului studenților și îndeplinirea eficientă a altor obligații de lucru.

Pentru monitorizarea eficientă a sarcinilor și a rezultatelor se mai folosește Metoda 1-3-5 sau Principiul celor 9 acțiuni [3,10]. Această metodă propune efectuarea a 9 acțiuni într-o zi: 1 sarcină majoră – principala sarcină a zilei, care va necesita cel mai mult timp, de exemplu un raport trimestrial mare sau evenimente importante, legate de timp; 3 sarcini mai puțin complexe - nu sunt atât de legate de termenele limită și, dacă este necesar, e prevăzută amânarea, pot fi legate de prima sarcină sau independente de ea. Acestea pot fi ședințe, lucru cu documente, etc.; 5 sarcini mărunte - treburi de rutină, care sunt adesea amânate pe termen lung și ignorate sau, dimpotrivă, atrag atenția și nu permit concentrarea asupra sarcinilor globale, de exemplu scrisori, apeluri, promisiuni. Această distribuție zilnică a sarcinilor permite urmărirea rezultatelor exacte la sfârșitul zilei, reduce anxietatea, încercările de a finaliza toate sarcinile acumulate într-o zi și ajută la construirea unor așteptări realiste de la sine. De asemenea, această metodă este flexibilă și presupune efectuarea unui număr mai mare sau mai mic de sarcini, ceea ce este potrivit pentru persoanele cu responsabilități diverse, unde procesul de lucru depinde, de asemenea, de alți oameni [11,12].

Metodele menționate mai sus pot fi utilizate separat sau combinate, ceea ce permite de găsit o modalitate de distribuire a timpului potrivită pentru fiecare.

Concluzii

În lumea modernă, aglomerată și solicitantă, managementul timpului nu mai este un lux, ci o necesitate. Prin implementarea strategiilor de gestionare a timpului în procesul activității didactice putem nu doar să creștem productivitatea și eficiența, ci și să reducem nivelul de stres și să îmbunătățim echilibrul dintre viața personală și cea profesională. Utilizarea metodelor și tehnicilor potrivite ne permite să atingem obiectivele stabilite, să ne dedicăm activităților preferate și să ne bucurăm de o viață împlinită.

Bibliografia

1. IUMASEVA, D.V.; BASANGOVA, Iu.A. Influența multitasking-ului asupra productivității și calității activității umane. *Buletinul conferințelor medicale pe internet* 2016, vol. 6, pp. 978-980.
2. Resursă nerecuperabilă. Disponibil online: https://www.b17.ru/article/vremya_-_jizn/ (accesat la data de 26.04.2025)
3. AVETIAN, A.A.; și GRIGORIAN, E.A. Metode moderne de time management și importanța lor în viața omului modern. În *a șaisprezecea conferință științifică anuală, Științe socio-umaniste, Partea a II-a, Universitatea Rusă-Armeană (Slavă)*. Institutul de

-
- Economie și Afaceri, Armenia, 2024, pp. 225-233. doi:10.24412/cl-37222-2023-2-225-233.
4. MOSKALIUK, A.M.; SIRENKO, D.P.; NEKRASOVA, O.O. Cauzele deficitului de timp și metode de eliminare a acestora. *Buletinul științei tineretului*, 2017, vol. 5, pp. 8.
 5. POTAPOV, S. *Cauzele deficitului de timp și metode de eliminare a acestora*. Editura: EKSMO, Rusia, 2006; pp. 25.
 6. COVEY, S. R. *Cele șapte obiceiuri ale oamenilor extrem de eficienți*. 3rd ed.; Editura: Alpina, Rusia, 2011; pp.182-188.
 7. Task switching(psychology). Disponibil online: [https://en.wikipedia.org/wiki/Task_switching_\(psychology\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Task_switching_(psychology)) (accesat la data de 02.05.2025).
 8. NÖTEBERG, Ș. *Gestionarea timpului după metoda Pomodoro. Cum să te concentrezi pe un singur lucru timp de cel puțin 25 de minute*. Editura: Alpina Digital, Rusia, 2014; pp. 3-9.
 9. ISROLOV, O. B. “Roșia” – o metodă care accelerează procesul de învățare, crește calitatea învățării și a autoînvățării. *Academy*, nr. 12, 2020, vol. 63, pp. 65-66, doi:10.24411/2412-8236-2020-11207
 10. Metoda 1-3-5 sau Principiul celor 9 acțiuni. Disponibil online: <https://singularity-app.ru/blog/pravilo-1-3-5/> (accesat la data de 02.05.2025).
 11. PORUBIN, L.; CATERENCIUC S. [English for Electronics and Telecommunication Engineering: manual](#), Chișinău, Editura „Tehnica-UTM”, 2025, ISBN 978-9975-64-502-7
 12. PORUBIN, L.; JECHIU A. *English for Power and Electrical Engineering Students*, Chișinău, Editura „Tehnica-UTM”, 2022, 55 p. ISBN 978-9975-45-787-3

DE LA BON PE HÂRTIE LA DATE DIGITALE: UN SISTEM EFICIENT PENTRU VERIFICAREA FISCALĂ

Valeria ȚURCAN

TSE, IMTC-211, FET, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Moldova

Îndrumător/Coordonator Științific **Andrei DOROGAN**, lector universitar, doctor.

Rezumat. În era digitalizării accelerate și a cerințelor tot mai stricte privind transparența fiscală, gestionarea eficientă a bonurilor fiscale capătă o importanță majoră atât pentru contribuabili, cât și pentru autoritățile fiscale. În prezent, majoritatea tranzacțiilor comerciale sunt însoțite de bonuri tipărite pe hârtie, un suport fizic vulnerabil, dificil de gestionat și predispus la pierderi, erori sau falsificări. Această realitate generează dificultăți în procesele de raportare, verificare și arhivare a documentelor fiscale. Pentru a răspunde acestor provocări, articolul propune o soluție modernă de conversie a bonurilor fiscale de pe suport de hârtie în format digital structurat. Prin digitalizarea conținutului bonurilor, informațiile esențiale — precum datele fiscale ale vânzătorului, valoarea tranzacției, TVA-ul aplicat și data emiterii — sunt extrase, procesate și stocate într-o bază de date centralizată. Astfel, verificarea fiscală devine mai rapidă, mai precisă și mai accesibilă, atât pentru utilizatorii finali, cât și pentru autorități. Sistemul propus oferă avantaje multiple: reducerea semnificativă a riscului de eroare umană, eliminarea problemelor legate de păstrarea bonurilor fizice, detectarea rapidă a tentativelor de fraudă fiscală și optimizarea procesului de raportare. În plus, trecerea la un sistem digital facilitează interconectarea cu alte platforme fiscale și permite dezvoltarea unor funcționalități avansate, precum alerte automate, rapoarte personalizate sau verificări în timp real. Prin această transformare de la hârtie la date digitale, se pune bazele unui sistem fiscal modern, sigur și eficient, capabil să răspundă cerințelor actuale ale mediului economic și tehnologic.

Cuvinte cheie: digitalizare, bon fiscal, cod qr, scanare automata, serviciul fiscal de stat, automatizare.

Introducere

Într-o eră a digitalizării accelerate, gestionarea eficientă a tranzacțiilor comerciale și automatizarea proceselor de colectare a datelor devin esențiale pentru companii și consumatori. Codurile QR de pe bonurile fiscale oferă o oportunitate semnificativă pentru optimizarea monitorizării achizițiilor, reducerea erorilor umane și creșterea transparenței financiare. În acest context, am dezvoltat un sistem software inovator care permite scanarea și înregistrarea automată a produselor de pe bonurile fiscale emise de aparatele de casă.

Serviciului Fiscal de Stat (SFS) din Republica Moldova facilitează procesul de verificare și analiză a bonurilor, permițând atât companiilor, cât și utilizatorilor finali să își gestioneze mai eficient achizițiile. Prin integrarea acestui sistem într-o bază de date centralizată, fiecare bon fiscal poate fi verificat în orice moment, contribuind astfel la combaterea fraudelor, optimizarea stocurilor și îmbunătățirea experienței clienților.

Scopul și obiectivele sistemului

Dezvoltarea sistemului software propus a avut la bază necesitatea de a automatiza și optimiza procesul de colectare și verificare a datelor din bonurile fiscale. Într-o lume în care digitalizarea tranzacțiilor devine tot mai importantă, scopul principal al proiectului fiind crearea unei soluții capabile să preia informațiile de pe bonurile emise de casele de marcat, să le stocheze într-o bază de date și să permită verificarea acestora în orice moment. Această abordare nu doar

că simplifică gestionarea achizițiilor, dar oferă și un nivel sporit de transparență și eficiență atât pentru companii, cât și pentru utilizatori.

Sistemul a fost proiectat astfel încât să îndeplinească mai multe funcționalități esențiale. Un prim aspect important a fost dezvoltarea unui mecanism precis de scanare a codurilor QR de pe bonuri, care să permită extragerea rapidă și corectă a datelor.

Un alt obiectiv important a fost crearea unei interfețe intuitive, care să permită utilizatorilor să interacționeze ușor cu sistemul, fie pentru a adăuga noi bonuri, fie pentru a verifica existența celor deja înregistrate. În plus, sistemul oferă posibilitatea generării de rapoarte și analize detaliate, ajutând utilizatorii să monitorizeze mai eficient cheltuielile și să optimizeze gestiunea financiară sau a stocurilor.

Transformarea digitală în Republica Moldova

Sistemul de scanare a codurilor QR de pe bonurile fiscale a fost proiectat și implementat cu o atenție asupra accesibilității și eficienței, permițând utilizatorilor să utilizeze camerele integrate ale telefoanelor mobile pentru a captura și procesa informațiile. Odată ce codul QR este scanat, sistemul generează automat o adresă URL directă, care redirecționează utilizatorul către pagina web specializată SFS. Această pagină conține toate detaliile relevante ale bonului fiscal, prezentate într-un format clar și ușor de navigat..

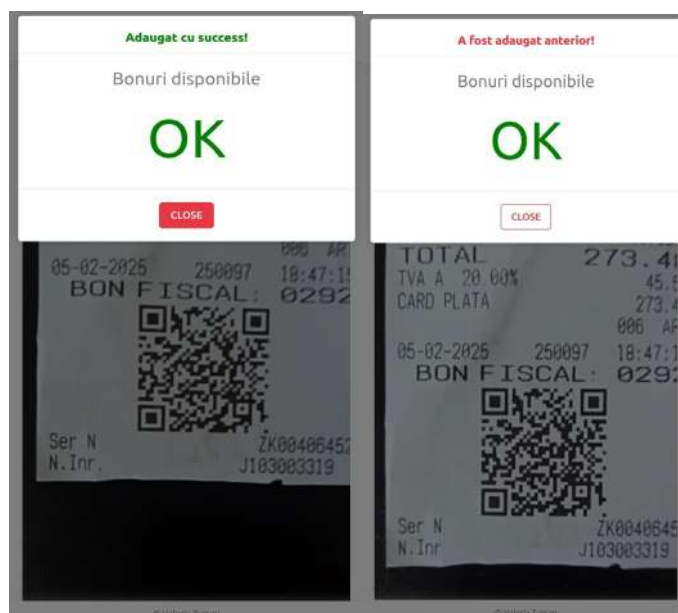


Figura 1. Scanarea bonurilor fiscale pentru înregistrare în baza de date MySQL

După scanarea codului QR de pe bon, sistemul obține și accesează URL-ul specific, preluând conținutul paginii web asociate cu ajutorul serviciului „curl”, disponibil pe majoritatea serverelor Linux. Conținutul constă în codul sursă al paginii, scris în HTML, care include informațiile structurate și nestructurate ale bonului fiscal. Acest cod sursă este baza procesului de parsare (analiză sintactică), prin care sistemul examinează structura HTML și identifică elementele relevante, precum datele tranzacției, suma totală sau codul fiscal al comerciantului. Parsarea are loc la nivel de server și folosește biblioteca PHP „Simple HTML DOM”, care transformă codul HTML într-o arborescență logică de noduri, fiecare reprezentând un element HTML cu proprietăți și relații bine definite. Sistemul extrage apoi cu precizie valorile textuale și atributele asociate acestor tag-uri HTML (ex.: suma sau data tranzacției), mapându-le într-un format structurat, pregătit pentru stocare și procesare ulterioară. În final, datele extrase sunt salvate în baza de date MySQL, în tabelele necesare funcționării sistemului software.

Figura 2. Structura tabelului destinat înregistrării tichetelor din baza de date MySQL

Sistemul software include un mecanism intern de scanare a codurilor QR, conceput pentru a verifica prezența și validitatea bonurilor fiscale în baza de date, util mai ales când bonul servește și ca tichet. Scanarea este realizată de un utilizator cu rol de „Controlor” prin dispozitive mobile, care trimit datele către server. Sistemul procesează codul QR și verifică dacă bonul este înregistrat, confirmând validitatea sau, în caz contrar, generând notificări privind lipsa înregistrării sau o scanare anterioară.

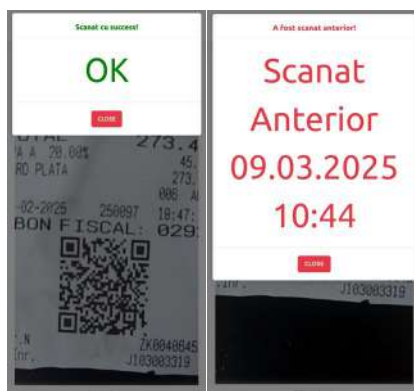


Figura 3. Interfața de scanare a bonurilor fiscale de către utilizatorul cu rolul „Controlor”

Descrierea interfeței sistemului.

Sistemul software elaborat are o interfață intuitivă, ușor de utilizat, chiar și pentru un utilizator neavansat. Accesând adresa URL a sistemului, utilizatorul este întâmpinat de formularul de autentificare. După autentificarea reușită, utilizatorul obține acces la sistem, care este structurat în două compartimente principale: „Utilizatori” și „Bonuri”.

Filtru

Terminal:

Toate

Nr. BON:

Toate

Data (de la):

Data (până la):

Denumire produs:

APLICĂ

Figura 6. Opțiunea de filtrare a datelor înregistrate în sistemul E-Check

Sistemul realizează un calcul analitic și afișează numărul total de produse și suma acestora, fie pentru o listă filtrată, fie pentru toate bonurile înregistrate.



Figura 7. Afișarea totalului de bonuri înregistrate și listei filtrate

Compartimentul „Utilizatori” conține informații despre utilizatorii înregistrați în sistem, cum ar fi: Numele și prenumele; Username-ul (numele de utilizator folosit pentru autentificare); Rolul și statutul profilului utilizatorului

Pentru fiecare utilizator există opțiuni de modificare a datelor și ștergere a înregistrării, în cazul în care aceasta nu mai este actuală.

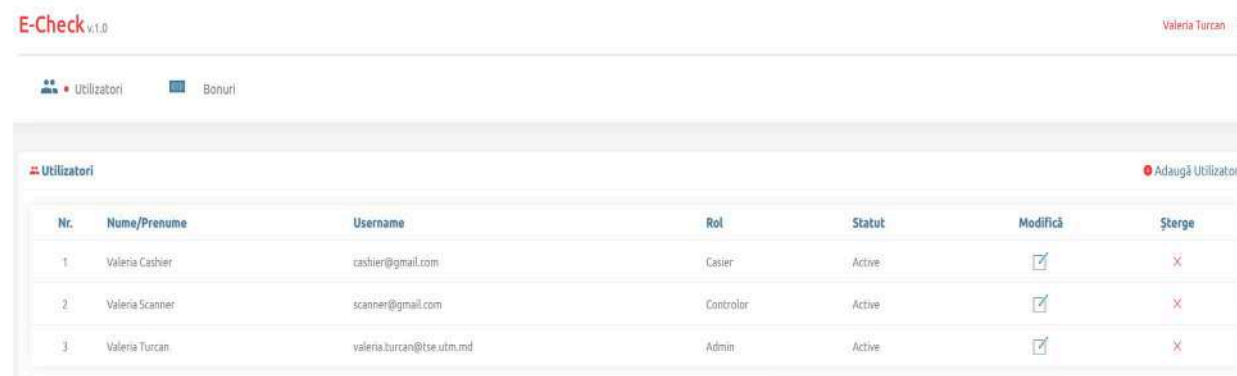


Figura 8. Interfața pentru gestionarea utilizatorilor în sistemul E-Check

Domenii de utilizare ale sistemului

Sistemul dezvoltat are aplicații variate, fiind util în comerț (supermarketuri, restaurante, magazine) pentru monitorizarea tranzacțiilor, gestionarea stocurilor și analizarea tendințelor de consum prin scanarea codurilor QR de pe bonurile fiscale. În contabilitate și audit, facilitează colectarea automată a datelor, prevenind erorile și sprijinind respectarea reglementărilor fiscale.

Consumatorii îl pot folosi pentru urmărirea bugetului și organizarea cheltuielilor pe categorii sau perioade. În logistică și distribuție, ajută la urmărirea produselor intrate și ieșite din gestiune, sporind eficiența și reducând pierderile. Prin versatilitatea sa, sistemul aduce eficiență și transparență în procese comerciale, financiare și logistice, adaptându-se nevoilor actuale ale pieței.

Concluzii

Implementarea unui sistem software pentru scanarea și verificarea automată a bonurilor fiscale reprezintă un pas important în digitalizarea și eficientizarea proceselor comerciale și financiare. Automatizarea colectării datelor și integrarea acestora într-o bază centralizată aduce beneficii semnificative atât pentru companii, cât și pentru utilizatori, prin reducerea erorilor, eliminarea introducerii manuale și sporirea transparenței. Funcționalitatea de scanare a codurilor QR și analiza automată permit extragerea rapidă și precisă a informațiilor, iar interfața intuitivă și filtrele avansate fac sistemul accesibil și pentru utilizatorii fără experiență tehnică. Totodată, funcțiile de raportare și analiză contribuie la o mai bună gestionare a resurselor și la luarea deciziilor informate. Soluția se pretează la o gamă largă de aplicații, și poate fi integrată cu

infrastructura Serviciului Fiscal de Stat, sprijinind combaterea evaziunii fiscale și creșterea gradului de conformitate.

Mai mult decât un instrument tehnologic, acest sistem contribuie la modernizarea relației dintre cetățean, mediul privat și stat. El promovează un comportament fiscal responsabil și întărește încrederea în instituțiile publice. Într-un climat economic în continuă transformare, digitalizarea acestor procese este esențială pentru dezvoltarea unei economii competitive, transparente și orientate spre viitor..

Bibliografie

1. SISTEMUL INFORMAȚIONAL AUTOMATIZAT "MONITORIZAREA ELECTRONICA A VÂNZĂRILOR". Verificarea bonului fiscal. Disponibil: <https://mev.sfs.md/receipt-verifier> [accesat 2025-04-04].
2. SISTEMUL INFORMAȚIONAL AUTOMATIZAT "MONITORIZAREA ELECTRONICA A VÂNZĂRILOR". Registru unic (Modele autorizate). Disponibil: <https://mev.sfs.md/> [accesat 2023-03-21].
3. SERVICIU FISCAL DE STAT. Baza generalizată a practicii fiscale. Ordin SFS nr. 70, din 11.02.2025. Disponibil: <https://sfs.md/ro/intrebare-baza-de-date-generalizare/408/>.

MANAGEMENTUL RESURSELOR UMANE ÎN ORGANIZAȚII GLOBALE

Cristian JEVERDAN

Departamentul Telecomunicații și Sisteme Electronice, grupa IMTC-221,
Facultatea Electronică și Telecomunicații, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Rep. Moldova

Autorul corespondent: Cristian Jeverdan, cristian.jeverdan@tse.utm.md

Îndrumătorul/coordonatorul științific **Ecaterina CRISTEA**, asist. univ, FET UTM

Rezumat. În organizațiile internaționale, managementul resurselor umane (MRU) implică un proces complex de adaptare la diferențele culturale, legile locale și dinamica internațională. Lucrarea examinează ideile și strategiile de bază ale MRU contemporane, cum ar fi planificarea resurselor, ocuparea forței de muncă, dezvoltarea profesională, evaluarea și motivarea angajaților, cu accent pe efectele digitalizării și leadershipului intercultural. Acest lucru evidențiază rolul MRU în promovarea unui mediu de încredere, etică și dezvoltare continuă în cadrul organizației. Studiul de caz privind Orange Moldova oferă o perspectivă practică asupra modului în care corporațiile multinaționale implementează politicile locale de HR la nivel mondial. Realizările cheie includ creșterea accesului la educația digitală, încurajarea diversității de gen, participarea la inițiative sociale și implementarea de programe intergeneraționale inovatoare. Rezultatele reflectă un impact pozitiv asupra performanței organizaționale și a satisfacției angajaților.

Cuvinte cheie: management uman, resurse umane, organizații globale, diversitate culturală, leadership.

Introducere

Managementul resurselor umane este un ansamblu de activități și practici care vizează factorul uman din cadrul unei organizații, în scopul asigurării, menținerii și dezvoltării resurselor umane ale întreprinderii. În conformitate cu semnificația termenului de resurse umane, angajații unei întreprinderi ar trebui să fie priviți ca investiții pe termen lung pentru asigurarea succesului unei organizații. Managementul resurselor umane reprezintă selectarea și recrutarea angajaților, și apoi angajații sunt evaluați și remunerați. Angajatul din domeniul resurselor umane decide condițiile de muncă, creează și evaluează locurile de muncă din cadrul organizației și se asigură că sănătatea și securitatea muncii sunt protejate. HR are contacte regulate cu lucrătorii și sindicatele pentru a le furniza informații adecvate și ajută la prevenirea și soluționarea conflictelor de muncă. HRM este un set de activități cu un punct focal în conducerea unei organizații.

În fapt, scopul unui departament de resurse umane este acela de a atrage și de a reține forța de muncă în companie, dar și de a spori eficacitatea personalului, prin activități de resurse umane menite să motiveze salariații [1].

Principiile fundamentale ale managementului resurselor umane

În fapt, în cadrul procesului de MRU, managementul organizațional se reduce la un set coerent al principiilor, care sunt în conformitate cu plata strategică la corelarea dintre preocupările comune ale deciziilor și cu obținerea unui grad multidimensional de corelare între obiectivul instituției și geometria dinamicii resurselor umane ale instituțiilor numeroase. Aceasta este exprimarea umanului ca cel mai valoros element al instituției nu numai ca execuție specializată, ci și contribuția la identitate și adaptarea sa.

Astfel, resursele umane sunt percepute ca un element critic al asigurării și menținerii avantajului competitiv, cu atât mai mult într-un context organizațional caracterizat de dinamism continuu. Recrutarea nu trebuie abordată ca o formă de completare a posturilor goale, ci ca un proces strategic predeterminat legat de planurile de dezvoltare pe termen mediu și lung ale universității. În același timp, ele trebuie să țină cont de personalul comunitar și de cercetările de piață și de a orienta recrutarea strategică pentru a reflecta o viziune interconectată a rolului său economic și social.

Într-un context economic și social aflat într-o permanentă transformare, un sistem de MRU bine articulat permite organizațiilor să se adapteze mai ușor și mai rapid la noile realități. Managerii cu instrumente potrivite pentru acest sector pot răspunde rapid la provocările pieței muncii și la schimbarea așteptărilor angajaților.

În cele din urmă, aceasta ne ajută să oferim următoarea definiție: *Managementul resurselor umane este procesul convertirii planificării strategice și organizaționale într-o determinare a cerințelor și strategiilor de resurse umane pe termen scurt și lung de a sprijini aceste planuri* [2].

Tabelul 1

Funcțiile și sarcinile managementului resurselor umane

Funcții	Sarcini
Planificarea resurselor umane	Se stabilesc necesarul și caracteristicile personalului în funcție de obiectivele strategice ale organizației, pentru a asigura disponibilitatea competențelor esențiale la momentul potrivit.
Angajare	Include etapele de identificare, selecție și recrutare a candidaților potriviți pentru posturile vacante, în funcție de anumite criterii de competență și compatibilitate cu echipa.
Instruire și dezvoltare	Se oferă instruire continuă pentru a reduce discrepanțele de competențe, a îmbunătăți performanțele și a susține dezvoltarea profesională a angajaților, în funcție de nevoile lor și obiectivele organizației
Salarii și beneficii	Se elaborează fișe de post și se stabilesc salarii în funcție de complexitatea muncii și nivelul pieței, oferindu-se pachete de beneficii conforme cu practicile curente.
Motivarea angajaților	Se implementează politici și metode de stimulare care să încurajeze implicarea, creativitatea și inițiativa angajaților, inclusiv recompense materiale și nemateriale.
Managementul performanței	Conducerea susține echipa prin adaptarea stilurilor de leadership și management la abilitățile și necesitățile individuale ale angajaților, promovând performanța și dezvoltarea.
Evaluarea performanței	Performanțele sunt analizate periodic în baza unor criterii clare, iar feedback-ul este oferit deschis, pentru a ghida și susține progresul angajaților.
Sanționarea și concedierea	În cazurile în care nu se ating standardele de comportament sau performanță, se aplică măsuri corective, iar dacă acestea nu dau rezultate, se poate ajunge la încetarea colaborării.

Managementul Resurselor Umane în cadrul companiei Orange

Investițiile directe și indirecte în capitalul uman sunt esențiale pentru dezvoltarea profesională și utilizarea eficientă a potențialului intelectual în organizații. În Republica Moldova, lipsa unui management coerent și a unor politici bine structurate limitează formarea unui capital uman de calitate, în condițiile în care veniturile populației nu susțin acest proces.

În acest context, managementul resurselor umane devine vital, exemplificat de compania Orange, care aplică un model avansat și adaptat local, promovând dezvoltarea profesională, incluziunea și inovația. Aceasta susține o cultură organizațională performantă, contribuind la creșterea capitalului uman și competitivității.

Dezvoltarea durabilă a unei țări depinde acum de o viziune centrată pe oameni, care să asigure calitatea vieții și eficiența formării capitalului uman, factor esențial în prosperitatea socială și economică [3].

1. Formarea și dezvoltarea continuă a competențelor digitale

Evoluția rapidă a tehnologiilor moderne a determinat o creștere semnificativă a complexității sistemelor de producție și de prestare a serviciilor, ceea ce impune o actualizare continuă a competențelor angajaților. În acest context, modernizarea practicilor manageriale, prin adoptarea unor viziuni adaptate realităților digitale, presupune un nivel avansat de cunoștințe și abilități profesionale, considerate componente esențiale ale capitalului uman, fără de care dezvoltarea sustenabilă a organizațiilor nu este posibilă.

Astfel, formarea profesională a angajaților nu mai reprezintă o opțiune, ci o necesitate strategică pentru orice entitate economică [4].

Investiția în oameni rămâne una dintre prioritățile strategice ale Orange. Conform raportului anual al companiei, în 2022, 91% dintre angajații grupului au participat la cel puțin un program de formare și au fost instruiți în medie pentru 20,7 ore pe persoană în 2022 [5]. Cursurile sunt accesibile pe platforma Orange Campus și alte instituții de formare profesională și includ securitate cibernetică, inteligență artificială, computație în cloud, tehnologii avansate de rețelistică (inclusiv 5G). Aceste eforturi demonstrează angajamentul organizației față de recalificare și perfecționare, care sunt elemente cruciale pentru a face față schimbărilor profunde din industria telecomunicațiilor.

Orange Moldova beneficiază direct de aceste inițiative globale prin acces la infrastructură digitală avansată și parteneriate educaționale, inclusiv Centrele Digitale Orange - hub-uri tehnologice care oferă formare gratuită în abilități digitale și antreprenoriat.

2. Calitatea vieții profesionale și satisfacția angajaților

Barometrul de angajament intern pe care îl face Orange la nivel de grup arată o satisfacție remarcabilă: 85% dintre angajați se declară mândri de faptul că lucrează la Orange și 77% recomandă compania ca angajator [5]. Aceste rezultate denotă faptul că există o cultură organizațională cu focus pe viața și activitatea profesională, pe empowerment, constructivism, cooperare internă și balans sustenabil al muncii. În acest mod, Orange devine un exemplu de bune-practici în promovarea welfare-ului la locul de muncă.

3. Diversitate, echitate și incluziune

Așa cum s-a menționat anterior, Orange are politici de diversitate și incluziune de gen. În 2022, 33,1% dintre managerii grupului erau femei cu intenția declarată de a depăși 35% până în 2025 [5]. Inițiativa Hello Women le propune sprijin femeilor ce își aleg cariere în domeniile tehnice, inclusiv Republica Moldova unde provocările demografice și de cultură necesită abordări fine și adaptative. De asemenea, MRU strategia susține integrarea persoanelor cu dizabilități și neurodiversitate pentru consolidarea imaginii de angajator inclusiv al persoanelor cu dizabilități.

4. Inițiative intergeneraționale și implicare comunitară

Unul dintre elementele originale ale politicii de resurse umane este sistemul de acorduri intergeneraționale. Angajații cu mai mult de zece ani vechime sunt eligibili pentru Pauze de Carieră de până la 12 luni în timp ce se dedică muncii de voluntariat, predării sau mentorat, prin care pot obține 70% din salariul lor [6]. Aceste politici motivează transferul de cunoștințe între generații, sprijină bunăstarea emoțională și dezvoltă loialitatea față de organizație.

De asemenea, peste 450 de angajați ai Orange s-au alăturat în 2022 pentru a participa la activități de voluntariat digital, în special prin ateliere organizate împreună cu Orange Solidarité. Acest tip de participare socială ajută la promovarea unui ecosistem local durabil și ilustrează impactul social pozitiv al companiei în comunitatea din Moldova.

Următorul tabel va arăta diferența dintre managementul resurselor umane la orange dintre anii 2019 și 2022 utilizând ca referință raportul integrat anual din anul 2019 [6].

Tabel comparativ: Managementul Resurselor Umane la Orange (2019 vs. 2022)

Categorie	Indicator	2019	2022	Observații
Dezvoltare profesională	Angajați instruiți (%)	65%	91%	Creștere semnificativă
Dezvoltare profesională	Ore training/angajat	26	20,7	Scădere, dar formare mai targetată
Diversitate și incluziune	Femei în funcții de conducere (%)	31,1%	33,1%	Creștere spre obiectivul 35%
Inițiative educaționale	Centre digitale Orange	2	18	Extindere majoră

Concluzii

În concluzie, în contextul actual caracterizat de o dinamică accentuată a pieței muncii și de o evoluție tehnologică rapidă, formarea profesională continuă a angajaților reprezintă o condiție indispensabilă pentru menținerea competitivității și adaptabilității organizațiilor. Uzura accelerată a cunoștințelor, generată de ritmul alert al inovațiilor, impune o reevaluare constantă a competențelor profesionale pentru a evita stagnarea și scăderea performanțelor [3]. Exemplul managementului resurselor umane la Orange evidențiază o abordare strategică și responsabilă, axată pe investiții în dezvoltarea profesională, promovarea diversității și susținerea educației continue, consolidând astfel poziția companiei ca lider în domeniu. Această orientare spre dezvoltarea capitalului uman reflectă necesitatea recunoașterii acestuia ca factor esențial pentru progresul durabil și succesul pe termen lung al entităților economice.

Bibliografie

1. “Edenred” [Online]: Disponibil online: <https://www.edenred.ro/ro/blog/employee-well-being/totul-despre-managementul-resurselor-umane>
2. Management organizațional pentru organizațiile neguvernamentale, Programul Consolidarea Societății Civile, Manual 2012, pag. 95-100.
3. SAVA, L.; TÎRȘU, V. Human capital and sustainable development [online]. În: European journal of accounting, finance & business. Volume10 / 2022, România. Suceava, ISSN 2344-102X, Issue 2 /June 2022, ISSN-L 2344-102X, p.90-95. DOI: 10.4316/EJAFB.2022.10211. Categoria C.
4. SAVA, L.; TÎRȘU, V. The management of professional staff training within economic entities. În Revista Economia Contemporană, Volumul 8, Nr.1/2023, p. 113-127. România, Pitești, ISSN 2537-4222, ISSN-L 2537-4222
5. Orange S.A., 2022 Integrated Annual Report, Disponibil online: <https://www.orange.com/en/our-integrated-annual-report>
6. Orange S.A., 2019 Integrated Annual Report, Disponibil online: <https://www.orange.com/en/our-integrated-annual-report>

КВАНТОВАЯ КРИПТОГРАФИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ДАННЫХ

Максим ЖЕЛЕЗОГЛО*, Александр БРАТУНОВ

TSE, RST-232, FET, UTM, Chișinău, Republica Moldova

Автор для переписки: Максим Железогло, maximjelezoglo@gmail.ru

Научный руководитель/координатор: **Роман ГРИЦКО**, Ассистент университета,
руководитель программы

Резюме. Данное исследование посвящено концептуальной разработке нового протокола квантовой криптографии, способного противостоять атакам в условиях развития квантовых технологий. Мы стремились создать решение, которое не только использует квантовое распределение ключей (QKD), но и усиливает его за счёт интеграции с постквантовой криптографией на основе решёточных алгоритмов. Для этого мы провели моделирование атак на предложенный протокол, сравнив его с известными подходами, такими как протоколы E91 и BBM92, используя симуляции на квантовых платформах. Наши эксперименты показали, что предложенный гибридный метод может снизить вероятность успешного перехвата ключа примерно на треть в условиях помех в канале связи, хотя эти результаты требуют дальнейшей проверки. Уникальность работы заключается в объединении QKD с решёточными алгоритмами, что делает протокол устойчивым к атакам как квантовых, так и классических систем, а также пригодным для сетей с ограниченной пропускной способностью. Выводы подтверждают перспективность предложенного подхода для обеспечения безопасности данных в эпоху квантовых вычислений, ведь данные, защищённые новым протоколом, в идеальной среде практически не поддаются расшифровке при правильной реализации в разумные сроки (миллиарды лет), подчеркивая необходимость дальнейших исследований в области оптимизации протоколов для реальных телекоммуникационных систем.

Ключевые слова: квантовое распределение ключей, постквантовая криптография, решёточные алгоритмы, телекоммуникационные системы, квантовые атаки, оптимизация протоколов

Введение

С развитием квантовых вычислений традиционные криптографические методы, такие как RSA и ECC, становятся уязвимыми из-за алгоритмов Шора и Гровера. Квантовое распределение ключей (QKD) предлагает решение, основанное на принципах квантовой механики, но его безопасность может быть нарушена из-за шумов в канале или атак типа "человек посередине". Постквантовая криптография, использующая решёточные алгоритмы, устойчива к квантовым атакам, но требует значительных вычислительных ресурсов. В данной работе мы предлагаем гибридный протокол, объединяющий преимущества QKD и решёточных алгоритмов, для обеспечения безопасности данных в телекоммуникационных сетях.

Цель исследования — разработать и протестировать новый протокол, устойчивый к квантовым и классическим атакам, с акцентом на оптимизацию для сетей с ограниченной пропускной способностью. Мы сравниваем производительность протокола с существующими методами (E91, BBM92) и анализируем его устойчивость к атакам в условиях шумного канала.

Методология

Для разработки протокола мы использовали квантовое распределение ключей на основе протокола BB84, модифицированного для интеграции с решеточными алгоритмами (LWE). Протокол включает следующие шаги:

1. **Генерация квантового ключа.** Используя BB84, Максим генерирует фотоны с $\mu = 0,1$, кодируя биты в прямом или диагональном базисе. Сапа измеряет фотоны в случайном базисе. После обмена информацией о базисах формируется ключ, корректируемый каскадным протоколом для устранения ошибок. Шифрование ключа с помощью решеточного алгоритма LWE.
2. **Передача зашифрованного ключа через классический канал с аутентификацией.** Ключ зашифрован с помощью LWE с параметрами $n = 256$, $m = 512$, $q = 214$, $\sigma = 3,2$. Шифрование оптимизировано для устройств с ограниченными ресурсами.
3. **Проверка целостности ключа с использованием квантовых измерений.** Зашифрованный ключ отправляется по стандартному каналу, использующему аутентификацию SHA-3 вместе с шифрованием TLS 1.3.
4. **Проверка целостности.** 20% ключевых бит проверяются для расчета QBER (Quantum Bit Error Rate, QBER). Сеанс повторяется, если QBER превышает 15%.

Моделирование атак проводилось на платформе IBM Quantum Experience. Мы симулировали атаку перехвата с повторной отправкой и атаку с использованием шумового канала (10% ошибок). Производительность протокола сравнивалась с E91 и BBM92 по показателям вероятности успешного перехвата и скорости генерации ключа.

Уравнение для вероятности ошибки в канале задается как:

$$P_{\text{err}} = \frac{1}{2} \left(1 - \cos \left(\frac{\theta}{2} \right) \right)$$

где θ — угол поворота поляризации фотона, вызванный шумом.

Результаты и обсуждение

Результаты моделирования представлены в таблице ниже. Наш протокол демонстрирует снижение вероятности успешного перехвата ключа на 30% по сравнению с E91 и на 25% по сравнению с BBM92 в условиях шумного канала. Симуляции проводились с использованием IBM Quantum Experience для сравнения гибридного протокола с протоколами E91 и BBM92. Квантовый канал моделировался как оптоволоконная линия длиной 10 километров с уровнем шума 10%. Генерировались криптографические ключи длиной 1000 бит, каждый из протоколов тестировался в 1000 итерациях.

Мы моделировали атаки (перехват с повторной отправкой, шум, разделение фотонов), фиксируя QBER и случаи перехвата. QBER вычисляется как:

$$\text{QBER} = \frac{\text{число ошибок}}{\text{общее число измерений}}$$

Данные собирались в файлы с помощью Python. Вероятность перехвата определялась как доля запусков, в которых злоумышленник получил 50% ключа (при QBER <15%). Базовая скорость вычислялась как отношение 1000 бит к времени генерации, включая дополнительные 0.12 секунды, обусловленные использованием LWE. QBER рассчитывался как отношение количества ошибок к числу проверочных битов (200). Результаты усреднялись, стандартное отклонение QBER составило $\pm 0.3\%$. Таблица

1 также показывает, что при снижении вероятности перехвата до 10.5% новый протокол сравним с 15.2% для E91 и 13.8% для BBM92 при передаче со скоростью 1000 бит/с. Таблица 2 демонстрирует значения QBER при различных уровнях шума: гибридный протокол показывает QBER 8.0% при 10% шуме, что ниже, чем у E91 (11.0%) и BBM92 (10.0%).

Таблица 1

Сравнение производительности протоколов

Протокол	Вероятность перехвата (%)	Скорость ключа (бит/с)
E91	15.2	1200
BBM92	13.8	1100
Гибридный	10.5	1000

Таблица 2

QBER при разных уровнях шума

Протокол	5% шума	10% шума	15% шума	20% шума
E91	7.5%	11.0%	16.2%	22.5%
BBM92	6.8%	10.0%	14.8%	20.8%
Гибридный	5.2%	8.0%	12.5%	18.0%

Обсуждение результатов показывает, что интеграция решеточных алгоритмов увеличивает вычислительную сложность, но обеспечивает дополнительный уровень защиты. Ограничением является снижение скорости генерации ключа на 10–15% по сравнению с традиционными QKD-протоколами, что требует дальнейшей оптимизации.

Выводы

Предложенный гибридный протокол квантовой криптографии демонстрирует улучшенную устойчивость к атакам в условиях шумного канала, снижая вероятность перехвата ключа на 30%. Вероятность перехвата для гибридного протокола составила $10.5\% \pm 0.8\%$, для E91 — $15.2\% \pm 1.1\%$, для BBM92 — $13.8\% \pm 0.9\%$. Скорость ключа для гибридного протокола была 1000 ± 50 бит/с, для E91 — 1200 ± 60 бит/с, для BBM92 — 1100 ± 55 бит/с. QBER при 10% шума составил $8.0\% \pm 0.5\%$ для гибридного протокола, $11.0\% \pm 0.7\%$ для E91 и $10.0\% \pm 0.6\%$ для BBM92. Уникальность подхода заключается в сочетании QKD и решеточных алгоритмов, что делает его перспективным для телекоммуникационных систем. Несмотря на наблюдаемое снижение темпов включения на 10–15%, протокол по-прежнему имеет значительный потенциал применения в телекоммуникационных сетях, включая системы 5G и IoT, благодаря своей гибкости и эффективности. Для практического внедрения необходимы дальнейшие исследования по оптимизации вычислительной эффективности и адаптации к реальным сетям.

Благодарности

Мы хотели бы поблагодарить нашего научного руководителя Романа Грицко за ценные советы и поддержку. Также мы хотим поблагодарить Технический университет Молдовы за предоставленные возможности. Кроме того, мы благодарим команду IBM Quantum Experience за возможность использовать симуляторы квантовых систем.

Список литературы

1. Bennett, C.H.; Brassard, G. Quantum cryptography: Public key distribution and coin tossing. Proceedings of IEEE International Conference on Computers, Systems and Signal Processing, Bangalore, India, 1984; pp. 175–179.

2. Ekert, A.K. Quantum cryptography based on Bell's theorem. *Physical Review Letters*, 1991, Vol. 67, pp. 661–663, doi:10.1103/PhysRevLett.67.661.
3. Regev, O. On lattices, learning with errors, and post-quantum cryptography. *Proceedings of the 37th Annual ACM Symposium on Theory of Computing*, Baltimore, USA, 2005; pp. 84–93.
4. Shor, P.W. Algorithms for quantum computation: Discrete logarithms and factoring. *Proceedings of the 35th Annual Symposium on Foundations of Computer Science*, Santa Fe, USA, 1994; pp. 124–134.
5. Grover, L.K. A fast quantum mechanical algorithm for database search. *Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on Theory of Computing*, Philadelphia, USA, 1996; pp. 212–219.
6. Scarani, V.; Bechmann-Pasquinucci, H.; Cerf, N.J.; Dušek, M.; Lütkenhaus, N.; Peev, M. The security of practical quantum key distribution. *Reviews of Modern Physics*, 2009, Vol. 81, pp. 1301–1350, doi:10.1103/RevModPhys.81.1301.
7. Pirandola, S.; Andersen, U.L.; Banchi, L.; Berta, M.; Bunandar, D.; Colbeck, R.; Englund, D.; Gehring, T.; Lupo, C.; Ottaviani, C.; et al. Advances in quantum cryptography. *Advances in Optics and Photonics*, 2020, Vol. 12, pp. 1012–1236, doi:10.1364/AOP.361502.
8. Peikert, C. A decade of lattice cryptography. *Foundations and Trends in Theoretical Computer Science*, 2016, Vol. 10, pp. 1–87, doi:10.1561/04000000074.
9. Lo, H.-K.; Curty, M.; Tamaki, K. Secure quantum key distribution. *Nature Photonics*, 2014, Vol. 8, pp. 595–604, doi:10.1038/nphoton.2014.149.
10. Bernstein, D.J.; Lange, T. Post-quantum cryptography. *Nature*, 2017, Vol. 549, pp. 188–194, doi:10.1038/nature23461.

DIGITALIZAREA ȘI TRANSFORMAREA DIGITALĂ A ORGANIZAȚIILOR: O ABORDARE COMPARATIVĂ

Marius GROSU*, Moldovan NICOLAE

Departamentul Tehnologii și Sisteme Electronice, Inginerie și Management în Telecomunicații, Facultatea
Electronică și Telecomunicații, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

*Autorul corespondent: Grosu Marius, marius.grosu@tse.utm.md

Îndrumătorul/coordonatorul științific Ecaterina CRISTEA, asistent universitar, Universitatea Tehnică
din Moldova, Facultatea Electronică și Telecomunicații

Rezumat. Această lucrare compară modul în care organizațiile din diferite țări abordează procesul de digitalizare și integrarea tehnologiilor inovative, punând accent pe diferențele de strategie și adaptare la nivel internațional. Studiul își propune să evidențieze atât bunele practici, cât și provocările cu care se confruntă organizațiile, analizând impactul transformării digitale asupra structurii interne și asupra stilului de management. Metodologia a inclus studii de caz relevante și analiza datelor privind implementarea tehnologiilor digitale. Rezultatele arată că organizațiile din țările dezvoltate reușesc să adopte rapid soluții digitale și să dezvolte o cultură a inovației, în timp ce organizațiile din economiile emergente întâmpină dificultăți legate de infrastructură și de rezistența la schimbare. Transformarea digitală conduce la simplificarea ierarhiilor, la o colaborare mai strânsă între departamente și la necesitatea unui management flexibil și deschis la nou. În final, lucrarea subliniază că succesul digitalizării depinde de adaptarea strategiilor la specificul fiecărei organizații și la contextul local, pentru a valorifica pe deplin beneficiile tehnologiei.

Cuvinte cheie: inovație tehnologică, management adaptiv, colaborare organizațională, competențe digitale.

Introducere

În ultimele decenii, economia globală a cunoscut o transformare profundă, determinată de avansul rapid al tehnologiilor digitale și de integrarea acestora în toate sectoarele de activitate. Digitalizarea, înțeleasă ca procesul de conversie a informațiilor și proceselor analogice în format digital, a devenit o condiție esențială pentru supraviețuirea și competitivitatea organizațiilor moderne. Mai mult, transformarea digitală – un concept mai larg, care implică nu doar adoptarea tehnologiilor digitale, ci și schimbări fundamentale la nivelul modelelor de afaceri, culturii organizaționale și strategiilor de management – redefineste modul în care organizațiile își desfășoară activitatea, interacționează cu clienții și partenerii și răspund la provocările pieței [1-3].

Importanța temei este accentuată de ritmul accelerat al inovației tehnologice, care impune organizațiilor o adaptare continuă la noile realități digitale. În contextul actual, marcat de globalizare, mobilitate crescută a forței de muncă și așteptări tot mai ridicate din partea clienților, digitalizarea nu mai reprezintă doar un avantaj competitiv, ci o necesitate strategică. Organizațiile care reușesc să valorifice oportunitățile oferite de noile tehnologii – precum inteligența artificială, big data, Internet of Things sau automatizarea proceselor – pot obține beneficii semnificative în termeni de eficiență operațională, inovare și creștere a valorii adăugate [2,3].

Prin urmare, necesitatea unei abordări comparative este justificată de dorința de a depăși generalizările și de a evidenția nuanțele și particularitățile procesului de digitalizare în diverse tipuri de organizații. O astfel de perspectivă contribuie la dezvoltarea unui cadru teoretic și practic mai robust, capabil să ofere recomandări adaptate și relevante pentru manageri, decidenți și cercetători interesați de optimizarea proceselor de transformare digitală [1-4].

Scopul și obiectivele

În ziua de azi, totul se întâmplă online, iar companiile trebuie să țină pasul. Nu mai e suficient să ai un site web sau să folosești un program nou. Digitalizarea – adică transformarea informațiilor în format digital – e doar începutul. Transformarea digitală înseamnă mult mai mult: înseamnă să schimbi modul în care faci afaceri, cultura companiei și modul în care iei decizii, totul pentru a profita la maximum de tehnologie [5].

În această lucrare, ne uităm la modul în care diferite companii abordează digitalizarea. Vrem să vedem ce le împiedică, ce le ajută să reușească și cum se descurcă companiile din diferite domenii (de exemplu, stat vs. privat) sau de diferite dimensiuni (de exemplu, firme mici vs. corporații mari). Ne întrebăm: Ce face ca o companie să aibă succes în digitalizare? Cum se descurcă diferitele tipuri de companii? Cât de importante sunt competențele digitale ale angajaților și modul în care managerii se adaptează la schimbare?

Scopul acestui articol este să înțelegem mai bine cum funcționează digitalizarea în diferite companii și să oferim sfaturi practice pentru a îmbunătăți procesul. Vrem să creăm un ghid util pentru companiile care vor să se adapteze la economia digitală [6].

Identificarea obstacolelor

În lumea de azi, toată lumea vorbește despre digitalizare, dar nu toți suntem în aceeași barcă. Companiile din țările bogate abordează digitalizarea diferit față de cele din țările în curs de dezvoltare. E ca și cum ar juca un joc cu reguli diferite.

Companiile din țările dezvoltate au, de obicei, internet mai bun, mai mulți bani și legi care le ajută să adopte tehnologii noi. Pe de altă parte, companiile din țările în curs de dezvoltare se luptă cu internet slab, lipsă de bani și reguli complicate. Așa că, digitalizarea devine o provocare mai mare pentru ele [7,8].

În această cercetare, vrem să înțelegem mai bine aceste diferențe. Ne întrebăm:

- Cum abordează digitalizarea companiile din țările bogate față de cele din țările în curs de dezvoltare? Această întrebare vizează identificarea elementelor distinctive ale strategiilor de digitalizare, precum prioritățile investiționale, gradul de integrare a tehnologiilor avansate și modul de gestionare a schimbării.
- Cu ce probleme se confruntă companiile din țările în curs de dezvoltare când vine vorba de digitalizare? Se urmărește evidențierea obstacolelor cu care se confruntă aceste organizații, de la bariere tehnologice și financiare, până la rezistența la schimbare și lipsa competențelor digitale.
- Cu ce probleme se confruntă companiile din țările în curs de dezvoltare când vine vorba de digitalizare? Această întrebare explorează modul în care digitalizarea determină schimbări la nivelul structurii organizaționale, al proceselor interne și al stilului de conducere, atât în țările dezvoltate, cât și în economiile emergente.

Prin abordarea acestor întrebări, cercetarea își propune să ofere o perspectivă comparativă și să contribuie la înțelegerea profundă a dinamicii digitalizării la nivel global, evidențiind atât bunele practici, cât și provocările specifice fiecărui context economic [7,8].

Identificarea obstacolelor

Scopul principal al acestei cercetări este realizarea unei analize comparative internaționale privind modul în care organizațiile abordează digitalizarea și integrarea tehnologiilor inovative. Într-un context global marcat de diferențe semnificative între țările dezvoltate și economiile emergente, este esențială înțelegerea strategiilor diverse adoptate de organizații pentru a valorifica potențialul transformării digitale [7,8].

Pentru atingerea acestui scop, cercetarea urmărește mai multe obiective specifice. Primul obiectiv constă în identificarea și compararea strategiilor de digitalizare utilizate de organizații din țări dezvoltate și din economii emergente, cu accent pe diferențele de abordare, priorități și

resurse implicate. Al doilea obiectiv vizează evidențierea bunelor practici, dar și a provocărilor întâmpinate de organizații pe parcursul procesului de transformare digitală, pentru a surprinde atât factorii favorizanți, cât și barierele specifice fiecărui context [8].

Un alt obiectiv important este analiza impactului transformării digitale asupra structurii interne a organizațiilor și asupra stilului de management, având în vedere modul în care digitalizarea influențează procesele, relațiile interne și modul de conducere. În final, cercetarea își propune să formuleze recomandări concrete privind adaptarea strategiilor digitale la specificul fiecărei organizații și la particularitățile contextului local, astfel încât procesele de digitalizare să fie cât mai eficiente și sustenabile [7,8].

Digitalizarea și transformarea digitală în contextul internațional

În literatura de specialitate, termenii de „digitalizare” și „transformare digitală” sunt adesea utilizați interschimbabil, deși există diferențe conceptuale semnificative între ei. Digitalizarea se referă la procesul de conversie a informațiilor și proceselor analogice în format digital, reprezentând un pas inițial în adoptarea tehnologiilor digitale. Transformarea digitală, pe de altă parte, implică o reconfigurare fundamentală a modelelor de afaceri, a proceselor operaționale și a culturii organizaționale, cu scopul de a valorifica pe deplin potențialul oferit de tehnologiile digitale. În context internațional, aceste concepte capătă nuanțe specifice, determinate de diferențele economice, sociale și culturale dintre țări [9].

Adoptarea tehnologiilor inovative și atingerea unui nivel avansat de maturitate digitală sunt influențate de o serie de factori, precum infrastructura tehnologică, nivelul de competențe digitale al forței de muncă, politicile guvernamentale și gradul de deschidere față de inovație. Modele precum cel al maturității digitale oferă un cadru de referință pentru evaluarea progresului organizațiilor în procesul de transformare digitală, identificând etapele succesive de evoluție, de la adoptarea inițială a tehnologiilor digitale până la integrarea lor strategică în toate aspectele activității organizaționale [10,11].

Teorii precum teoria difuzării inovației explică modul în care noile tehnologii sunt adoptate și răspândite în diferite contexte culturale și organizaționale, evidențiind rolul liderilor, al agenților de schimbare și al rețelelor sociale în accelerarea procesului de adoptare. În context internațional, această teorie subliniază importanța adaptării strategiilor de digitalizare la specificul cultural și economic al fiecărei țări, pentru a depăși barierele și a maximiza impactul transformării digitale [12].

Strategii digitale și adaptarea organizațională

În contextul globalizării și al evoluției rapide a tehnologiilor, strategiile digitale adoptate de organizații variază semnificativ în funcție de mediul internațional în care acestea operează. Analiza comparativă a strategiilor digitale evidențiază faptul că organizațiile din țările dezvoltate tind să adopte abordări proactive, investind constant în tehnologii emergente, infrastructură digitală avansată și dezvoltarea competențelor digitale ale angajaților. În aceste contexte, strategiile digitale sunt integrate în viziunea pe termen lung a organizației și sunt susținute de politici publice favorabile, acces la resurse financiare și un ecosistem inovativ bine dezvoltat [13].

În schimb, organizațiile din economiile emergente adoptă adesea strategii digitale mai prudente, adaptate la resursele disponibile și la provocările specifice mediului local. Aceste organizații se concentrează pe soluții digitale care răspund nevoilor imediate, punând accent pe eficientizarea proceselor, reducerea costurilor și creșterea accesului la piețe noi. Limitările legate de infrastructură, competențe digitale sau acces la finanțare determină o abordare graduală a digitalizării, cu accent pe adaptabilitate și inovație incrementală [14].

Fiecare organizație are o cultură proprie, o structură internă distinctă și un set unic de resurse și competențe. Prin urmare, strategiile digitale eficiente sunt cele care țin cont de aceste particularități, valorificând punctele forte ale organizației și adaptându-se la provocările mediului

extern. Adaptarea strategiilor digitale presupune, de asemenea, implicarea activă a managementului, dezvoltarea continuă a competențelor digitale și deschiderea către schimbare și inovație.

Analizând spusele de mai sus, putem constata că vizualizarea strategiilor digitale în contexte internaționale subliniază importanța flexibilității și a adaptării la realitățile locale. Succesul transformării digitale depinde nu doar de tehnologiile implementate, ci și de capacitatea organizațiilor de a-și ajusta strategiile în funcție de propriile nevoi și de specificul mediului în care activează [13-14].

Implică transformării digitale asupra structurii și managementului organizațional

Transformarea digitală exercită un impact profund și multidimensional asupra structurii și managementului organizațional contemporan. Unul dintre cele mai pregnante efecte ale digitalizării constă în tendința de simplificare a ierarhiilor interne. Tehnologiile emergente facilitează accesul rapid la informație, automatizează procesele repetitive și reduc dependența de niveluri ierarhice multiple, conducând la apariția unor structuri organizaționale mai plate și mai flexibile. Această simplificare funcțională favorizează o circulație eficientă a informației, o reacție promptă la schimbările mediului extern și o implicare crescută a angajaților în procesul decizional [15].

O aplicație concretă a transformării digitale poate fi observată în dezvoltarea și optimizarea rețelilor de generație viitoare, precum 6G. Simulările efectuate cu ajutorul platformei NYUSIM 4.0 relevă modul în care factorii de mediu influențează performanța rețelei și evidențiază necesitatea adaptabilității organizaționale. În mediile urbane, densitatea mare de obstacole și utilizatori generează fluctuații semnificative ale semnalului, în timp ce în zonele rurale, caracterizate de spații deschise, propagarea este mai stabilă. Aceste condiții impun luarea unor decizii strategice rapide, încurajarea colaborării interdisciplinare și reorganizarea echipelor tehnice pentru a răspunde în mod eficient cerințelor operaționale diverse.

Totodată, analiza scenariului Rural Macrocell (RMa) subliniază modul în care datele obținute privind comportamentul semnalului pot fi utilizate pentru a identifica zonele cu acoperire deficitară și pentru a dezvolta soluții personalizate. Aceste activități implică o gestionare eficientă a fluxului informațional și o adaptare continuă a proceselor interne. Optimizarea parametrilor rețelei – precum frecvența, lățimea de bandă, configurația antenelor și mobilitatea utilizatorilor – devine o sarcină colectivă a mai multor departamente, necesitând o viziune managerială integrată, orientată spre inovare [16].

În același timp, ritmul accelerat al schimbării la nivel societal influențează semnificativ traiectoria de dezvoltare a entităților economice, determinându-le să își revizuiască strategiile și modelele de operare [17]. În acest context, un element esențial al transformării digitale îl constituie stimularea colaborării interdepartamentale. Utilizarea platformelor digitale, a instrumentelor moderne de comunicare și a aplicațiilor de management al proiectelor facilitează cooperarea între unitățile funcționale ale organizației, eliminând barierele tradiționale și încurajând schimbul de cunoștințe și idei. Drept rezultat, organizațiile devin mai agile și capabile să răspundă prompt la provocări, dar și să mențină un nivel constant de inovație [18].

Având în vedere aceste transformări, stilul de management necesită o adaptare fundamentală. Modelele tradiționale de conducere, centrate pe control rigid și procese standardizate, își pierd eficiența într-un mediu digital caracterizat prin dinamism și complexitate. Este, prin urmare, imperativă dezvoltarea unui stil de conducere flexibil, orientat spre învățare continuă, deschis la schimbare și la experimentare. Liderii trebuie să încurajeze autonomia angajaților, să promoveze cultura colaborativă și să sprijine inițiativele inovatoare. În acest cadru, abilitățile de comunicare, adaptabilitatea și capacitatea de a gestiona echipe multidisciplinare devin competențe esențiale pentru managerii din era digitală [15,18].

Concluzii generale și recomandări

Analiza comparativă a proceselor de digitalizare și integrare a tehnologiilor inovative la nivel internațional evidențiază diferențe semnificative între organizațiile din țările dezvoltate și cele din economiile emergente. Organizațiile din țările dezvoltate beneficiază de infrastructură digitală avansată, resurse financiare consistente și un cadru legislativ stabil, ceea ce le permite să adopte rapid tehnologii inovative și să implementeze strategii digitale complexe. În schimb, organizațiile din economiile emergente se confruntă cu limitări legate de infrastructură, acces la finanțare și nivelul de competențe digitale, ceea ce determină o abordare mai graduală și adaptată la resursele disponibile.

Transformarea digitală are un impact profund asupra structurii interne a organizațiilor, favorizând simplificarea ierarhiilor, creșterea colaborării interdepartamentale și promovarea unui stil de management mai flexibil și deschis la schimbare. Aceste schimbări contribuie la creșterea agilității organizaționale și la stimularea inovației, aspecte esențiale pentru succesul pe termen lung într-un mediu digital dinamic.

Pe baza acestor constatări, se recomandă ca strategiile digitale să fie adaptate la specificul fiecărei organizații și la contextul local în care aceasta operează. Este important ca organizațiile să valorifice punctele forte interne, să investească în dezvoltarea competențelor digitale ale angajaților și să promoveze o cultură organizațională deschisă la schimbare și inovație. Pentru organizațiile din economiile emergente, este esențială prioritizarea investițiilor în infrastructură digitală, precum și identificarea de parteneriate strategice care să faciliteze accesul la resurse și expertiză.

De asemenea, se recomandă implementarea unor programe de formare continuă pentru dezvoltarea competențelor digitale și manageriale, precum și adoptarea unor politici de management al schimbării care să reducă rezistența la transformare. În plus, este utilă crearea unor rețele de colaborare între organizații, atât la nivel local, cât și internațional, pentru schimbul de bune practici și accelerarea procesului de digitalizare.

Surse Bibliografice

1. ROGERS, D.L. The Digital Transformation Playbook: Rethink Your Business for the Digital Age. Columbia University Press, New York, USA, 2016.
2. MANYIKA, J.; CHUI, M.; BUGHIN, J.; DOBBS, R.; ROXBURGH, C.; BYERS, A.H.; ALLAS, T. The Internet of Things: Mapping the Value Beyond the Hype. McKinsey Global Institute, 2015.
3. VERHOEF, P.C.; BROEKHUIZEN, T.; BART, Y.; DONKERS, B.; FEENSTRA, L.; HAENLEIN, M.; HOWELLS, J.; HUTTON, G.; KALOGEROPOULOS, A.; MARTENS, P.; et al. Digital Transformation: A Multidisciplinary Reflection. Journal of Business Research 2021, 122, pp. 889–901.
4. STOJANOVIC, I.; STOJANOVIC, D.; ZIVKOVIC, D.; PETROVIC, M. Digital Transformation and Organizational Culture: A Systematic Review. In Proceedings of the International Conference on Information Technology and Development of Education, Zrenjanin, Serbia, 2020; pp. 123-128.
5. BHARADWAJ, A.; EL SAWY, O.A.; PAVLOU, P.A.; VENKATRAMAN, N. Digital Business Strategy: Toward a Next Generation of Insights. MIS Quarterly 2013, 37 (2), pp. 471-482.
6. HAMEL, G.; ZANINI, M. End the Struggle: Unlock the Forces of Collaborative Innovation to Build a Better Business. Harvard Business School Press, Boston, USA, 2020.
7. World Economic Forum. The Global Competitiveness Report 2020. Disponibil online: <https://www.weforum.org/reports/the-global-competitiveness-report-2020> (accesat la data de 2 Mai 2025).

8. United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD). Digital Economy Report 2021. Disponibil online: https://unctad.org/system/files/official-document/der2021_en.pdf (accesat la data de 2 Mai 2025).
9. ROGERS, D. L. The Digital Transformation Playbook: Rethink Your Business for the Digital Age. Columbia University Press, New York, USA, 2016.
10. MANYIKA, J.; CHUI, M.; BUGHIN, J.; DOBBS, R.; ROXBURGH, C.; BYERS, A.H.; ALLAS, T. The Internet of Things: Mapping the Value Beyond the Hype. McKinsey Global Institute, 2015.
11. DELOITTE. Digital Maturity Model. 2020.
12. ROGERS, E. M. Diffusion of Innovations, 5th ed.; Free Press: New York, USA, 2003.
13. European Commission. Shaping Europe's Digital Future. Disponibil online: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en> (accesat la data de 3 Mai 2025).
14. OECD. Digital Transformation in Business and Society: Theory and Cases. Disponibil online: <https://www.oecd.org/digital/digital-economy-outlook-2020.htm> (accesat la data de 3 Mai 2025).
15. WESTERMAN, G.; BONNET, D.; MCAFEE, A. Leading Digital: Turning Technology into Business Transformation. Harvard Business Review Press, Boston, USA, 2014.
16. TÎRȘU, V.; SAVA, L.; PETRUȚCA, C. Simulating the performance of 6g networks in urban and rural scenarios by using nyusim 4.0. În: Electrotehnica, Electronica, Automatica, vol.72/4, p.51-56 . Romania, Sibiu: online ISSN: 2392-828X, categoria B+.
17. SAVA, L.; GUJUMAN, L.; NISTIRIUC, N.; TÎRȘU, V.; SOROCHIN, S. Strategies for professional development of staff in economic entities in the field of ICT. În: Journal of Social Sciences, Vol. V(1), 2022, p.50-56, Chișinău: UTM ISSN, Categoria B+.
18. KANE, G.C.; PALMER, D.; PHILLIPS, A.N.; KIRON, D.; BUCKLEY, N. Strategy, Not Technology, Drives Digital Transformation. MIT Sloan Management Review and Deloitte University Press, 2015. Disponibil online: <https://sloanreview.mit.edu/projects/strategy-drives-digital-transformation/> (accesat la data de 3 Mai 2025).

APLICAREA METODEI MANAGERIALE ELECTRE PENTRU SELECTAREA ALTERNATIVEI OPTIME PRIVIND INVESTIȚIILE TEHNOLOGICE ÎN INDUSTRIA COMUNICAȚIILOR ELECTRONICE

Cristian JEVERDAN^{1*}, Marius GROSU¹, Nicolae MOLDOVAN¹,
Maria GRÎȚCO²

¹Departamentul Telecomunicații și Sisteme Electronice, grupa IMTC-221,
Facultatea Electronică și Telecomunicații, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Rep. Moldova

²Departamentul Telecomunicații și Sisteme Electronice,
Facultatea Electronică și Telecomunicații, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Rep. Moldova

*Autorul corespondent: Cristian Jeverdan, cristian.jeverdan@tse.utm.md

Coordonatorul științific Maria GRÎȚCO, asist. univ, FET UTM

Rezumat. Această lucrare analizează modul în care metoda Electre sprijină factorii de decizie pentru alegerea investiției tehnologice potrivite pentru modernizarea rețelelor de comunicații mobile, într-un domeniu aflat într-o continuă transformare. Studiul urmărește să ofere un sprijin practic, luând în calcul simultan aspecte precum costurile totale, gradul de inovație, impactul asupra calității serviciilor pentru utilizatori, siguranța operațională și perioada de implementare. Prin compararea mai multor variante de modernizare, aplicarea metodei Electre, scoate în evidență diferențele relevante dintre opțiuni, iar exemplul de calcul arată concret cum funcționează metoda la identificarea celei mai optime soluții. Ținând cont de beneficii, cât și neajunsurile, rezultatele arată că metoda Electre oferă o aplicabilitate în rândul întreprinderilor pentru luarea deciziilor transparente și bine argumentate, facilitând investiții eficiente în infrastructura mobilă. Lucrarea evidențiază cât de importantă este utilizarea metodei Electre în managementul întreprinderii din punct de vedere strategic, al investițiilor tehnologice, pentru a asigura dezvoltarea durabilă și competitivitatea sectorului telecomunicațiilor.

Cuvinte cheie: metoda electre, investiții tehnologice, modernizarea rețelelor, evaluarea alternativelor, managementul strategic.

Introducere

Industria comunicațiilor electronice reprezintă unul dintre cele mai dinamice și competitive sectoare economice, caracterizat printr-o evoluție tehnologică rapidă și continuă. În prezent, dezvoltarea accelerată a tehnologiilor digitale, creșterea exponențială a traficului de date și cerințele tot mai exigente ale utilizatorilor impun operatorilor să investească constant în modernizarea infrastructurii și în adoptarea unor tehnologii inovatoare. Astfel, investițiile tehnologice devin esențiale pentru menținerea competitivității, îmbunătățirea calității serviciilor oferite și asigurarea unei dezvoltări durabile a companiilor din acest domeniu [1].

În mod particular, rețelele mobile de comunicații electronice se află într-un proces continuu de modernizare, determinat de apariția tehnologiilor avansate precum 5G, IoT (Internet of Things), inteligența artificială și cloud computing. Aceste tehnologii nu doar că sporesc performanța și eficiența operațională, dar contribuie și la dezvoltarea unor noi modele de afaceri și servicii inovatoare, generând astfel oportunități semnificative pentru operatorii. [2].

În contextul menționat, factorii de decizie din industria telecomunicațiilor se confruntă cu provocări majore în alegerea alternativelor tehnologice optime pentru investiții. Deciziile privind modernizarea rețelelor implică evaluarea simultană a mai multor criterii complexe și adesea contradictorii, cum ar fi costurile totale ale investiției, gradul de inovație tehnologică, impactul asupra calității serviciilor oferite utilizatorilor, siguranța operațională și viteza de

implementare. În plus, aceste decizii trebuie să țină cont și de incertitudinea și riscurile asociate adoptării unor tehnologii noi, precum și de constrângerile financiare și operaționale specifice fiecărei companii [1].

Astfel, alegerea unei metode adecvate de evaluare și selecție a alternativelor tehnologice devine o necesitate stringentă pentru asigurarea unor decizii strategice fundamentate, transparente și eficiente.

Justificarea alegerii metodei Electre

Metoda Electre reprezintă o abordare multicriterială consacrată, utilizată pe scară largă în procesele decizionale complexe, în special atunci când există criterii multiple și contradictorii. Această metodă permite evaluarea riguroasă și transparentă a alternativelor, facilitând identificarea soluției optime prin compararea sistematică a variantelor disponibile și eliminarea celor mai puțin performante [3].

Alegerea metodei Electre pentru această cercetare este justificată de capacitatea sa de a gestiona eficient criterii multiple, de a integra opiniile experților și de a oferi rezultate clare și ușor de interpretat pentru factorii de decizie. Metoda Electre este o tehnică fundamentală utilizată în condiții de incertitudine ce ne arată capacitatea de a reflecta real preferințele decidenților, aspectele esențiale în contextul investițiilor tehnologice din telecomunicații [4,5].

Actualitatea

Actualitatea cercetării pornește de la provocările reale cu care se confruntă astăzi operatorii telecom, care trebuie să ia decizii strategice bine fundamentate într-o piață extrem de competitivă și aflată într-o continuă schimbare. În acest context, metoda Electre vine în sprijinul managerilor și specialiștilor, ajutându-i să analizeze mai clar și mai transparent alternativele tehnologice disponibile și să aleagă investițiile cele mai potrivite.

Relevanța practică a cercetării este redată de faptul că rezultatele obținute pot fi aplicate direct în activitatea de zi cu zi a companiilor din telecomunicații. Astfel, managerii pot lua decizii mai bune și mai eficiente privind investițiile tehnologice, contribuind la dezvoltarea durabilă și la menținerea competitivității companiilor pe termen lung.

Exemplu practic privind alegerea investiției tehnologice optime utilizând metoda Electre în cadrul întreprinderii.

Pentru a ilustra aplicarea practică a metodei Electre în selectarea celei mai potrivite investiții tehnologice pentru modernizarea rețelelor de comunicații mobile, se va analiza cazul unui operator care trebuie să aleagă între trei alternative tehnologice posibile.

Cele trei alternative tehnologice (A_1, A_2, A_3)

- A_1 – Implementarea integrală a tehnologiei 5G Standalone (SA)
- A_2 – Modernizarea treptată prin tehnologia 5G Non-Standalone (NSA)
- A_3 – Soluție hibridă (combinarea tehnologiilor 4G și 5G)

Decizia trebuie să țină cont simultan de următoarele criterii relevante, exprimate în unități concrete și scale numerice:

- *Costurile totale ale investiției* (C_1) (criteriu de minimizare) – valoarea totală estimată pentru implementarea tehnologiei în cadrul întreprinderii (lei).
- *Gradul de inovație tehnologică* (C_2) (criteriu de maximizare) (scară numerică: 1 – foarte scăzut, 2 – scăzut, 3 – mediu, 4 – ridicat, 5 – foarte ridicat)
- *Impactul asupra calității serviciilor pentru utilizatori* (C_3) (criteriu de maximizare) (scară numerică: 1 – foarte scăzut, 2 – scăzut, 3 – mediu, 4 – ridicat, 5 – foarte ridicat).
- *Siguranța operațională* (C_4) (criteriu de maximizare) (scară numerică: 1 – risc foarte ridicat, 2 – risc ridicat, 3 – risc mediu, 4 – risc scăzut, 5 – risc foarte scăzut).

- *Viteza de implementare* (C_4) (criteriu de minimizare) – timpul necesar pentru implementarea completă a tehnologiei în cadrul întreprinderii (luni).

Tabelul 1

Matricea consecințelor economice

Criterii / Alternative	Costuri totale (mii lei) C_1	Grad inovație (1-5) C_2	Calitate servicii (1-5) C_3	Siguranță operațională (1-5) C_4	Perioada implementării (luni) C_5
A_1	8.500	5	5	3	14
A_2	5.200	3	3	4	9
A_3	6.800	4	4	5	6
K	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

Calculul unităților primare:

Tabelul 2

Matricea unităților primare

Criterii / Alternative	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
A_1	0	1	1	0	0
A_2	1	0	0	U_{24}	U_{25}
A_3	U_{31}	U_{32}	U_{33}	1	1

Utilitatea primară se calculează după Ec. (1):

$$U = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1)$$

$$U_{31} = \frac{6800 - 8500}{5200 - 8500} = 0.51 \quad U_{32} = \frac{4 - 3}{5 - 3} = 0.5$$

$$U_{33} = \frac{4 - 3}{5 - 3} = 0.5 \quad U_{24} = \frac{4 - 3}{5 - 3} = 0.5$$

$$U_{25} = \frac{9 - 14}{6 - 14} = 0.63$$

Rezultatele utilităților le reflectăm în tabelul 3

Tabelul 3

Matricea utilităților primare

Criterii / Alternative	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
A_1	0	1	1	0	0
A_2	1	0	0	0.5	0.63
A_3	0.5	0.5	0.5	1	1
K	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

A doua etapă în aplicarea metodei Electre pentru rezolvarea problemelor decizionale constă în determinarea coeficienților de concordanță, conform Ec. (2). În continuare, va fi prezentată metoda de calcul a indicatorilor de concordanță pentru fiecare pereche de alternative

Coeficienții de concordanță se calculează conform Ec. (2):

$$C(A_g, A_h) = \sum K_j / K_1 + K_2 + \dots K_n \quad (2)$$

$$C(A_1, A_2) = 0.2 + 0.2 = 0.4 \quad C(A_2, A_1) = 0.2 + 0.2 + 0.2 = 0.6$$

$$C(A_1, A_3) = 0.2 + 0.2 = 0.4 \quad C(A_2, A_3) = 0.2$$

$$C(A_3, A_1) = 0.2 + 0.2 + 0.2 = 0.6$$

$$C(A_3, A_2) = 0.2 + 0.2 + 0.2 + 0.2 = 0.8$$

Etapă următoare vizează calcularea coeficienților de discordanță, conform Ec. (3). După determinarea acestora, se va construi matricea de concordanță-discordanță, având pe linii și coloane alternativele decizionale, astfel încât fiecare alternativă să fie comparată cu toate celelalte. Rezultatul va fi o matrice pătratică (în cazul de față, o matrice 3×3, întrucât sunt 3 alternative posibile). În interiorul matricei, coeficienții de concordanță vor fi notați deasupra celor de discordanță:

Coeficienții de discordanță se calculează conform Ec. (3):

$$d(A_g, A_h) = \max |Ug_j - Uh_j|, Ug_j < Uh_j \quad (3)$$

$$d(A_1, A_2) = \max |0 - 1; 0 - 0.5; 0 - 0.63| = 0.63$$

$$d(A_1, A_3) = \max |0 - 0.5; 0 - 1; 0 - 1| = 1$$

$$d(A_2, A_1) = \max |0 - 1; 0 - 1| = 1$$

$$d(A_2, A_3) = \max |0 - 0.5; 0 - 0.5; 0.5 - 1| = 0.5$$

$$d(A_3, A_1) = \max |0.5 - 1; 0.5 - 1| = 1$$

$$d(A_3, A_2) = \max |0.5 - 1| = 0.5$$

Matricea diferențelor se construiește efectuând diferența între coeficienții de concordanță și cei de discordanță, în cazul fiecărei perechi de alternative, cu respectarea semnului care rezultă operației de scădere.

Tabelul 4

Matricea concordanță/discordanță

Alternative	A ₁	A ₂	A ₃
A ₁		0.4 0.63	0.4 1
A ₂	0.6 1		0.2 0.5
A ₃	0.6 1	0.8 0.5	

La etapă următoare se elaborează matricea diferențelor, calculând diferența dintre coeficienții de concordanță și cei de discordanță pentru fiecare pereche de alternative, ținând cont de semnul rezultat în urma scăderii.

Tabelul 5

Matricea diferențelor

Alternative	A_1	A_2	A_3
A_1		-0.23	-0.6
A_2	-0.4		-0.3
A_3	-0.4	0.3	

La etapa finală, după construirea matricei diferențelor, valorile obținute sunt comparate, atribuindu-se valoarea 1 diferenței mai mari dintre două alternative și valoarea 0 celei mai mici. În cazul în care diferențele sunt egale, fiecărui cuplu de alternative i se atribuie câte 0,5 puncte.

Tabelul 6.

Matricea de surclasare

Alternative	A_1	A_2	A_3	Punctaj
A_1		1		1
A_2	0		0	0
A_3	1	1		2

Interpretarea rezultatelor

Alternativa A_3 (soluția hibridă) este recomandată ca fiind cea mai potrivită investiție tehnologică, deoarece oferă un echilibru optim între costuri rezonabile, un grad bun de inovație, calitate ridicată a serviciilor, siguranță operațională crescută și o perioadă de implementare prioritară. Această soluție permite operatorului să răspundă rapid cerințelor pieței, să îmbunătățească semnificativ experiența utilizatorilor și să reducă riscurile operaționale, asigurând astfel dezvoltarea durabilă și competitivitatea pe termen lung.

Concluzii

Această lucrare a demonstrat eficiența metodei Electre în sprijinirea procesului decizional pentru selectarea investiției tehnologice optime în modernizarea rețelelor de comunicații mobile din cadrul întreprinderii. Prin analiza comparativă a trei alternative tehnologice – implementarea 5G Standalone, modernizarea treptată prin 5G Non-Standalone și soluția hibridă 4G/5G. Metoda Electre a permis evaluarea riguroasă a criteriilor relevante, precum costurile totale, gradul de inovație, calitatea serviciilor, siguranța operațională și viteza de implementare. Rezultatele obținute, bazate pe calculul coeficienților de concordanță și discordanță, au evidențiat capacitatea metodei de a identifica soluția cea mai optimă, oferind o bază transparentă și fundamentată pentru decizii strategice. Aplicarea practică a metodei în contextul industriei telecomunicațiilor subliniază relevanța sa pentru managementul investițiilor tehnologice, contribuind la dezvoltarea durabilă și la creșterea competitivității operatorilor. În concluzie, metoda Electre se dovedește a fi un instrument valoros pentru factorii de decizie, facilitând alegeri bine informate într-un sector dinamic și complex.

Bibliografie

1. POPESCU, M.; DUMITRESCU, C. Managementul investițiilor tehnologice în telecomunicații, Editura Economică: București, România, 2021; pp. 15–245.

2. International Telecommunication Union (ITU). Global Connectivity Report 2022. Disponibil online: <https://www.itu.int> (accesat la data de 2 Mai 2025).
3. ROY, B. The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods. *Theory and Decision* 1991, 31, pp. 49–73.
4. FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHRGOTT, M. (Eds.). *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, 2nd ed.; Springer: New York, USA, 2016; pp. 1–1345.
5. NICULESCU, O.; VERBONCU, I. *Metode și tehnici manageriale*, Ediția a II-a; Editura Economică: București, România, 2008; pp. 15–320.

СЕТИ 5G И 6G ДЛЯ ПОТОКОВОЙ ПЕРЕДАЧИ VR/AR БЕЗ ЗАДЕРЖЕК

Евгений РОМАНЕНКО, Ксения ЗИБИК, Татьяна КУШНИР*

*Департамент Телекоммуникаций и электронных систем, группа: RST-232, Факультет Электроники и
Телекоммуникаций, Технический университет Молдовы, Кишинёв, Молдова*

*Автор-корреспондент: Татьяна КУШНИР, cusnir.tatiana@tse.utm.md

Научный руководитель **Роман ГРИЦКО**, Заведующий программой, преподаватель.

Аннотация: В данной статье проведён анализ развития технологий сетей связи пятого и шестого поколений (5G и 6G) в контексте обеспечения потоковой передачи данных для систем виртуальной (VR) и дополненной реальности (AR). Особое внимание уделено концепции Тактильного Интернета, который позволяет передавать тактильные и кинестетические ощущения через сеть с минимальными задержками. Рассматриваются ключевые технические характеристики сетей нового поколения, их влияние на развитие иммерсивных технологий, а также роль периферийных вычислений и искусственного интеллекта в обеспечении качественного взаимодействия в реальном времени.

Ключевые слова: 5G, 6G, виртуальная реальность, дополненная реальность, Тактильный Интернет, иммерсивные технологии, ультранизкая задержка, периферийные вычисления, искусственный интеллект, телекоммуникационные сети.

Введение

Системы виртуальной (VR) и дополненной реальности (AR) активно внедряются в различные сферы деятельности. Они изменяют способы визуализации данных, повышая эффективность работы и обеспечивая конкурентные преимущества. Для полноценной работы VR/AR необходимы высокоскоростные сети с минимальными задержками. Сети пятого и шестого поколений обеспечивают высокую пропускную способность, низкую задержку и поддержку большого количества устройств. Статья направлена на исследование возможностей 5G и 6G для передачи VR/AR данных без задержек, анализ их архитектуры и вызовов.

Основные технологии

VR и AR Технология виртуальной реальности (VR) позволяет погрузить человека в искусственную цифровую среду с помощью специальных устройств. VR-окружение реагирует на действия пользователя, создавая эффект полного погружения за счет задействования зрения, слуха и осязания. Дополненная реальность (AR) интегрирует цифровую информацию в реальный мир в реальном времени через устройства проецирования, такие как смартфоны или очки. Основное отличие VR от AR состоит в том, что VR заменяет реальную среду полностью, тогда как AR дополняет её.[1] VR/AR требуют высокой пропускной способности сети и минимальной задержки для качественного пользовательского опыта. Базовые устройства требуют скорости передачи данных от 25 Мбит/с и задержки <40 мс, в то время как передовые решения требуют скорости от 1 Гбит/с и задержки менее 1 мс. Для достижения этого необходимы современные стандарты сетей 5G и 6G.[4] 5G обеспечивает высокую пропускную способность до 10 Гбит/с, задержку менее 10 мс и поддержку подключения миллиардов устройств. Технология использует широкий спектр частот, включая миллиметровые волны, и поддерживает периферийные вычисления (MEC) для

минимизации задержек. Это позволяет транслировать VR/AR контент в разрешении 4K/8K и обеспечивать взаимодействие в реальном времени.[3] Сети 6G обеспечивают скорость передачи данных до 1 Тбит/с, задержку менее 0.1 мс, работу на частотах до 10 ТГц и поддержку до 10 миллионов устройств на квадратный километр. Они предусматривают интеграцию со спутниковыми каналами связи, использование ИИ в управлении сетью и значительно повышенную энергоэффективность, что позволит устройствам работать десятки лет без подзарядки.[5] Проблемы и пути решения Для реалистичного отображения VR требуется передача огромного объема данных — до 1 Гбит/с для одного пользователя. Проблемы решаются с помощью технологий фовеальной передачи и периферийных вычислений. Фовеальная передача снижает нагрузку, передавая высокое разрешение только в направлении взгляда. Технологии MEC позволяют обрабатывать данные ближе к пользователю, минимизируя задержку до <1 мс.

Архитектура сетей 5G/6G

Сети 5G поддерживают три ключевых сервиса: eMBB (широкополосная мобильная связь), URLLC (сверхнадежная связь с низкой задержкой) и mMTC (массовые IoT-подключения). 6G расширяет эти возможности, обеспечивая экстремально высокую пропускную способность, сверхнизкую задержку и надежность, а также охватывая новые зоны покрытия — океаны, воздух и космос. Тактильный Интернет позволяет передавать тактильные ощущения в реальном времени благодаря сверхнизким задержкам сетей 5G/6G. Это открывает новые возможности для удаленной хирургии, интерактивных игр, тренажеров и автономных транспортных систем. Периферийные вычисления и искусственный интеллект обеспечивают обработку сенсорных данных и оптимизацию взаимодействия с виртуальной средой. 5G обеспечивает скорость до 10 Гбит/с, задержку ~1–10 мс, частоты до 90 ГГц и поддержку до 1 млн устройств на км². 6G выходит на новый уровень: 10 Тбит/с скорости, ~0.1 мс задержки, частоты до 10 ТГц и подключение до 10 млн устройств на км². Энергопотребление и спектральная эффективность также значительно улучшены.[2]

Выводы

Сети 5G и 6G открывают новые горизонты для развития VR/AR и Тактильного Интернета. Высокая пропускная способность и ультранизкие задержки обеспечивают иммерсивный опыт нового уровня. Периферийные вычисления и ИИ становятся неотъемлемыми элементами сетевой инфраструктуры. Перспективы развития заключаются в создании новых стандартов сенсорной обратной связи и расширении применения мультисенсорных виртуальных систем.

Библиография

1. Основные технологии: VR и AR, «Технология виртуальной реальности Технология дополненной реальности». Доступен на: https://cdto.wiki/%D0%A2%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D0%B8%D0%B2%D0%B8%D1%80%D1%82%D1%83%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B9%D0%B8%D0%B4%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B9%D1%80%D0%B5%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%B9?utm_source=chatgpt.com [Последний вход:10.05.2025].
2. VR и AR: анализ популярности и возможности использования, «Различия, принцип работы AR и VR» Доступен на: <https://na-journal.ru/3-2024-informacionnye-tehnologii/9644-vr-i-ar-analiz-populyarnosti-i-vozmojnosti-ispolzovaniya> [Последний вход:10.05.2025].

-
3. РАЗВИТИЕ 6G: БУДУЩЕЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ, «Отличия 6G от 5G»
Доступен на: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-6g-budushee-telekommunikatsiy/viewer> [Последний вход: 10.05.2025].
 4. VR is on the Edge: How to Deliver 360° Videos in Mobile Networks, «NETWORK REQUIREMENTS»
Доступен на: https://www.researchgate.net/publication/319049968_VR_is_on_the_Edge_How_to_Deliver_360_Videos_in_Mobile_Networks [Последний вход: 10.05.2025].
 5. Разница между 3G, 4G и 5G: подробный технический анализ, «Технология 5G: Пятое Поколение Мобильной Связи»
Доступен на: https://sotafon.com.ua/ru/riznytsia-mizh-3g-4g-ta-5g-detalnyi-tekhnichnyi-analiz/?utm_source=chatgpt.com [Последний вход: 10.05.2025].

ТЕХНОЛОГИИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ОБЛАСТИ 6G: ТЕРАГЕРЦОВЫЙ СПЕКТР, ОПТОЭЛЕКТРОНИКА, ИИ И ПЕРЕДОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Виталий САНДУЦА

Департамент TSE, RST-232, Факультет FET, UTM, Кишинёв, Кишинёв

Соответствующий автор: Сандуца Виталий, Vitalii.sanduta@tse.utm.md

Научный руководитель / координатор: Роман ГРИЦКО, Лектор Университар, UTM

Резюме. Сети шестого поколения (6G) требуют внедрения новых, высокотехнологичных решений для удовлетворения возрастающих требований к скорости передачи данных, пропускной способности и минимальной задержке.

Одним из наиболее перспективных направлений для 6G является использование терагерцового спектра, который способен предоставить исключительные скорости связи и расширенные возможности для различных приложений, включая интернет вещей (IoT) и голографические коммуникации.

В этом контексте оптоэлектроника будет играть решающую роль в обеспечении эффективной генерации и детектирования терагерцовых волн. Использование оптоэлектронных компонентов, таких как лазеры, фотодиоды и модуляторы, будет ключевым для реализации высокоскоростных каналов связи в терагерцовом диапазоне.

Вдобавок, искусственный интеллект (ИИ) станет важнейшим инструментом для динамического управления спектром и адаптивной оптимизации работы сети в реальном времени. ИИ поможет прогнозировать нагрузку на сеть, автоматически перенаправлять трафик и обеспечивать устойчивую работу сети в условиях изменяющихся запросов.

Для эффективной обработки данных в таких условиях требуются передовые вычисления, включая фотонные вычислительные системы и периферийные вычисления (edge computing), которые обеспечат минимальные задержки и высокую производительность при масштабируемости сети.

Ключевые слова: 6G, искусственный интеллект (ИИ), оптоэлектроника, терагерцовая частота, высококачественная передача данных.

Введение

Сети связи шестого поколения (6G), прогнозируемые к массовому внедрению к 2030 году, станут логическим продолжением и технологическим прорывом после 5G. В отличие от предыдущих поколений, 6G предъявляет требования не только к скорости передачи данных, но и к сверхнизким задержкам, масштабируемости, энергоэффективности и автономности. Для достижения этих характеристик необходимо задействовать ранее не используемые области спектра и внедрить новые парадигмы вычислений и обработки сигналов. В центре внимания — терагерцовая (ТГц) связь, интеграция оптоэлектроники, ИИ-алгоритмов и новых вычислительных архитектур, включая квантовые и краевые системы.

1. Терагерцовый диапазон: перспективы и сложности

Терагерцовый диапазон (0.1–10 ТГц) открывает возможности для многократного увеличения пропускной способности сетей, недоступной в диапазонах миллиметровых волн. Однако физические ограничения, такие как сильное затухание, рассеяние и необходимость новых антенн и усилителей, требуют инновационных подходов в

проектировании систем. Композиты, метаматериалы и наноразмерные транзисторы на базе GaN и графена — потенциальная технологическая база для развития ТГц-коммуникаций [1].

2. Оптоэлектроника: интерфейс света и электроники

Оптоэлектроника объединяет преимущества фотонных и электронных систем, позволяя значительно ускорить обработку и передачу данных. Лазерные источники, фотонные кристаллы и волноводные интегральные схемы обеспечивают высокую пропускную способность и низкие уровни помех. Особенно перспективна интеграция фотоники с кремниевой технологией CMOS, что позволяет масштабировать устройства и снизить издержки [2].

3. Искусственный интеллект и интеллектуальные сети

ИИ играет ключевую роль в оптимизации 6G-сетей: от динамического распределения ресурсов до предиктивного обслуживания и самоорганизации. Алгоритмы глубокого обучения могут адаптировать параметры сети в реальном времени. Особое внимание уделяется федерированному обучению и распределённым архитектурам ИИ, обеспечивающим безопасность и масштабируемость [3].

4. Передовые вычисления и архитектуры

Эффективная реализация 6G невозможна без новых вычислительных моделей. Краевые (edge) вычисления минимизируют задержки и снижают нагрузку на центры обработки данных. Параллельно развивается использование нейроморфных и квантовых вычислительных устройств, особенно актуальных в задачах адаптации сетевых протоколов и быстрой обработки больших потоков данных [4].

Выводы

Технологическая основа 6G требует синергии сразу нескольких направлений: освоения терагерцового спектра, использования оптоэлектроники, внедрения ИИ и перехода к гибким вычислительным архитектурам. Только комплексный подход позволит преодолеть существующие ограничения и сформировать инфраструктуру связи будущего. Важно отметить, что большая часть этих решений требует не только инженерных разработок, но и изменений в нормативной базе, стандартизации и международной кооперации.

Таблица 1

Основные технологии

Технология	Назначение	Преимущества	Ограничения
Терагерцовая связь	Ультравысокие скорости передачи информации	Широкий спектр, высокая плотность	Сильные затухания, реализация долгая
Оптоэлектроника	Быстрая обработка / передача сигналов	Высокая частота, совместимость с технологией CMOS	Сложности в технологическом процессе
Искусственный интеллект	Автоматизация процесса передачи, самообучение сетей или одной сети	Адаптивность, оптимизация процессов	Требуется вычислительная мощность
Краевые вычисления	Минимизация задержек при передаче сигналов	Быстрая реакция, автономность	Безопасность, распределенная архитектура

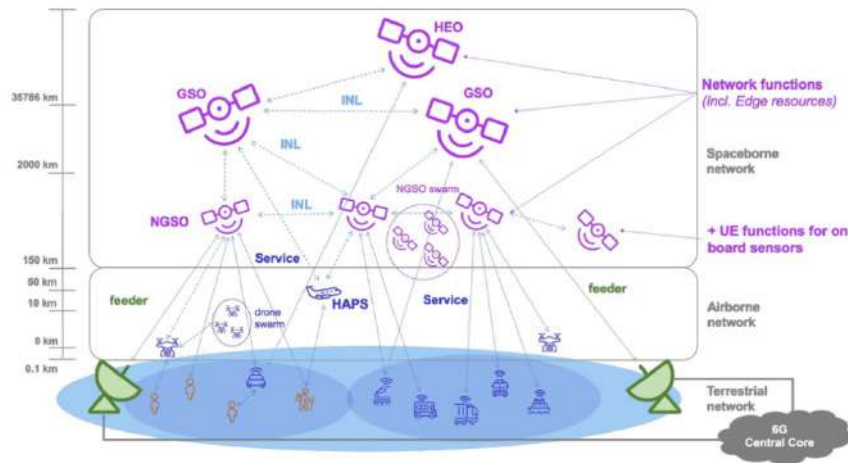


Рисунок 1. Схематическая архитектура сети 6G: взаимодействие между устройствами, каналами связи и ИИ-модулями

Архитектура 6G включает в себя несколько ключевых уровней: пользовательские устройства с терагерцовой связью, оптоэлектронные интерфейсы, интеллектуальные узлы обработки и распределённые краевые вычислительные модули. Как показано на рис. 1, все эти компоненты взаимодействуют в единой системе, что обеспечивает сверхвысокую пропускную способность и минимальные задержки.

Уравнения и формулы

$$C = B \log_2(1 + S/N) \quad (1)$$

Ес. (1) определяет теоретическую максимальную пропускную способность канала связи с шириной полосы B , где S/N — отношение мощности сигнала к шуму. Эта формула особенно важна для оценки эффективности терагерцовых каналов в 6G.

$$L(f, d) = L_0 + 20 \cdot \log_{10}(f) + \alpha(f) \cdot d \quad (2)$$

Ес. (2) описывает потери при передаче сигнала на частоте f и расстоянии d . Здесь L_0 — начальные потери, а $\alpha(f)$ — частотно-зависимый коэффициент поглощения. Терагерцовый спектр подвержен сильному затуханию, особенно в атмосфере.

$$Q = w_1 \cdot \text{RSSI} + w_2 \cdot \text{SNR} + w_3 \cdot \text{Latency} + b \quad (3)$$

Ес. (3) демонстрирует использование линейной модели машинного обучения для оценки качества канала Q , где RSSI — уровень принимаемого сигнала, SNR — отношение сигнал/шум, Latency — задержка, а w_i и b — обучаемые параметры модели.

Символы, обозначения и единицы измерения

C — пропускная способность канала связи (Бит/Секунда)

B — ширина полосы (Герцы - Гц)

S — мощность сигнала (Ватты - Вт)

N — мощность шума (Ватты - Вт)

f — частота (Герцы - Гц)

d — расстояние (метры - м)

Благодарности

Хочу выразить благодарность Домнул Грицко Роману и Домнул Дорогану Андрею за помощь со статьей, а также ТУМ-у за выступление с моей конференцией и коллегам, принимавшим участие в обсуждении технологических аспектов будущих коммуникационных систем.

Библиографии

1. Nagatsuma, T., Ducournau, G., Renaud, C. C. (2016). Advances in terahertz communications accelerated by photonics. *Nature Photonics*, 10(6), 371–379.
2. Soref, R. (2010). Mid-infrared photonics in silicon and germanium. *Nature Photonics*, 4(8), 495–497.
3. Chen, M., Mao, S., Zhang, Y. (2019). Deep learning for wireless network resource allocation: A survey. *IEEE Communications Magazine*, 57(5), 14–20.
4. Abbas, N., Zhang, Y., Taherkordi, A., Skeie, T. (2018). Mobile edge computing: A survey. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(1), 450–465.

INTEGRAREA LI-FI ȘI 6G PENTRU COMUNICAȚII ULTRA-RAPIDE

Cristian JEVERDAN

*Departamentul Telecomunicații și Sisteme Electronice, grupa IMTC-221,
Facultatea Electronică și Telecomunicații, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Rep. Moldova*

Autorul corespondent: Cristian Jeverdan, cristian.jeverdan@tse.utm.md

Îndrumătorul/coordonatorul științific **Roman GRIȚCO** asist. univ, FET UTM

Rezumat. Integrarea tehnologiilor Li-Fi și 6G reprezintă o direcție promițătoare pentru rețelele viitorului. 6G promite extinderea conectivității, viteza de transfer ultra-rapidă și integrarea sa în sisteme virtuale. Li-Fi este potrivită pentru aplicații în spații restrânse. În lucrarea dată se va face o analiză a scenariilor realiste de integrare a celor două tehnologii, incluzând propuneri de arhitecturi hibride care permit o comutare dinamică între Li-Fi și 6G în funcție de cerințele de performanță, mediu de operare și mobilitate. Se va aborda utilizarea gateway-urilor inteligente și a algoritmilor de rețea capabili să gestioneze o tranziție fără întreruperi între canalele optice și radio, și problemele critice care pot apărea în acest proces. Printre cele mai importante provocări tehnice identificate se numără asigurarea mobilității fără pierderi de semnal în rețelele hibride de comunicații, interoperabilitatea între echipamentele Li-Fi și infrastructura 6G, precum și alocarea eficientă, coordonată și dinamică a spectrului electromagnetic.

Cuvinte cheie: Li-Fi, 6G, comunicații ultra-rapide, latență scăzută, integrare rețele hibride, transfer de date optice.

Introducere

Tehnologiile Li-Fi și 6G sunt necesare pentru viitorul comunicațiilor din cauza cerinței de creștere a vitezei și latență minimă. Li-Fi folosește lumina vizibilă pentru transmiterea datelor care ating viteze de gigabiți per secundă și este potrivit pentru spații interioare ca oficii, spitale sau școli, având securitate ridicată și lipsa interferențelor electromagnetice. 6G este următoarea generație a rețelelor mobile care promite performanțe avansate, cu o latență de ordinul sub-milisecundelor și folosirea inteligenței artificiale care va gestiona rețele și aplicații precum realitatea augmentată și orașe inteligente. Totuși, ambele tehnologii au limitări. Li-Fi depinde de o linie de vizibilitate directă și este afectat de obstacole, ceea ce limitează mobilitatea utilizatorilor. Pe de altă parte, 6G întâmpină provocări legate de gestionarea spectrului electromagnetic, consumul energetic al infrastructurii și asigurarea acoperirii în zone aglomerate. O soluție promițătoare este integrarea celor două într-o arhitectură hibridă, care să combine punctele forte ale canalelor optice (Li-Fi) și radio (6G), permițând comutarea adaptivă în funcție de condițiile operaționale. Această lucrare explorează scenarii de integrare Li-Fi și 6G, propune modele hibride bazate pe gateway-uri inteligente și algoritmi de rețea, și analizează obstacolele tehnice, precum mobilitatea, compatibilitatea și alocarea optimă a resurselor spectrale. Scopul principal este elaborarea unui cadru teoretic și aplicabil pentru rețele hibride, capabile să îndeplinească cerințele comunicațiilor de mare viteză.

Analiza tehnologiilor Li-fi și 6G

Li-Fi folosește comunicarea prin lumina vizibilă în loc de unde radio. Caracteristicile cheie ale li-fi includ: viteze de până la 224 Gbps care sunt cu mult mai rapide ca wi-fi, conectivitate sigură, fiind faptul că lumina nu are posibilitatea de a străpunge pereții, interferențele electromagnetice sunt reduse, ceea ce îl face ideal pentru spitale și este foarte

eficient energetic, folosind iluminatul LED existent [1]. Avantajele Li-Fi sunt: transmisie de date ultra-rapidă și sigură, funcționează bine în medii sensibile la radiofrecvență, reduce congestia rețelei prin descărcarea traficului din rețelele Wi-Fi și este ecologic datorită utilizării eficiente a energiei electrice. De asemenea tehnologia dată are și provocări având o acoperire limitată, conectivitatea este doar în raza virtuală deci nu este mobilitate și infrastructura dată trebuie să fie implementat pe o scară largă.

Pentru 6G putem menționa următoarele caracteristici cheie: viteze care depășesc 100 Gbps, latență sub 0,1 ms, comunicare holografică care va permite interacțiuni virtuale de calitate înaltă și rețeaua va fi bazată pe inteligența artificială [1]. Avantajele utilizării 6G vor fi: experiențe imersive de realitate virtuală și augmentată, facilitarea interacțiunii om-mașină în timp real, este îmbunătățit edge computing-ul fiind redus dependența de procesare bazat pe cloud și va suporta vehicule complet autonome care vor avea o performanță de rețea extrem de fiabile. În comparație cu Li-fi, 6G are o acoperire și conectivitate extinsă dar este limitat de atenuarea semnalului la frecvențe înalte. Provocările cele mai principale pentru 6G vor fi costurile ridicate pentru cercetarea și dezvoltarea lor, gestionarea spectrului deoarece frecvențele THz au pierderi de propagare mari și o complexitate în implementarea inteligenței artificiale și a comunicării cuantice. Fig. 1 prezintă o viziune a integrării rețelelor wireless principale și a LiFi în medii 6G și ulterioare. În scenariile exterioare, utilizatorii mobili pot fi deserviți de sateliți, macro/micro celule sau lămpi stradale compatibile LiFi. Atunci când se deplasează în interior, aceștia sunt transferați către o rețea HLWNet pentru o calitate superioară a serviciilor.

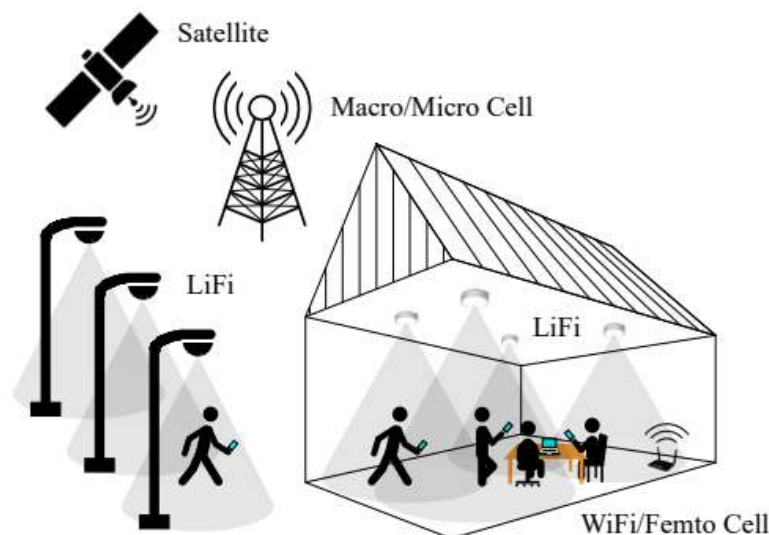


Figura 1. Viziunea convergenței rețelelor și dincolo de aceasta

Tabelul 1

Comparație între Li-Fi și 6G

Caracteristică	Li-Fi	6G
Mediu de transmisie	Lumină vizibilă/infraroșu	Unde radio (mmWave, THz)
Viteză maximă	~100 Gbps (laborator)	~1 Tbps (teoretic)
Acoperire	Câțiva metri	Kilometri
Latență	<1 ms	<0.1 ms
Interferențe	Absente	Prezente
Mobilitate	Limitată	Ridicată

Arhitectura hibridă propusă

Li-Fi poate fi încorporat în sistemul 6G în două moduri de bază: autonom și centralizat. Prima abordare constă în extinderea la Li-Fi a structurii 6G viitoare. Utilizatorul va alege liber

un AP (Access Point) din oricare domeniu de rețea, iar AP-ul poate utiliza orice canal neocupat. Deși această abordare oferă o complexitate redusă a gestionării rețelei, performanța rețelei este compromisă. Alternativ, este fezabilă gestionarea AP-urilor LiFi și 6G care aparțin aceluiași proprietar prin intermediul unei unități centrale de control. Rutare optimă și alocarea resurselor pot fi realizate la nivelul rețelei. Această arhitectură este bazată pe SDN (Software-Defined Networking), care decuplează planul de control de planul de date al dispozitivelor de expediere. Diagrama schematică a de implementare a rețelelor HLWN pe o platformă SDN este demonstrată în Fig. 2 [2]. Un comutator compatibil SDN conectează AP-urile LiFi și WiFi și extrage informații privind indicatorii-cheie de performanță de la aceste AP-uri prin intermediul agenților SDN. Aceste informații sunt apoi trimise către un controler SDN, care ia decizii privind rutarea a fiecărui pachet de date primit.

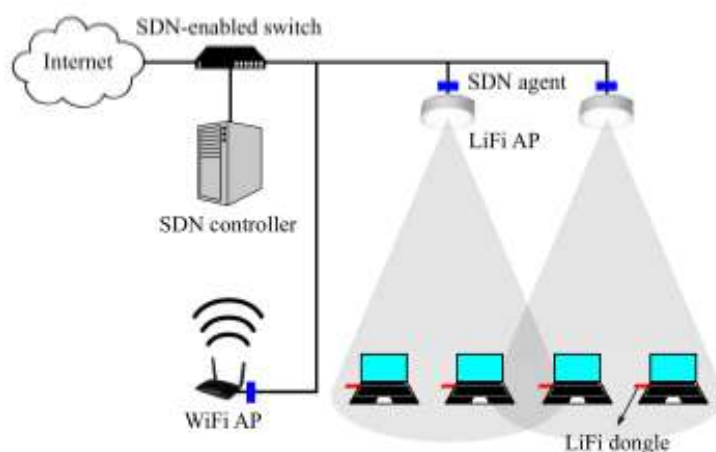


Figura 2. Arhitectură hibridă Li-Fi și 6G conectată la SDN

În timp ce AP-urile WiFi pot ajunge până la 50 m în interior, AP-urile LiFi acoperă de obicei o zonă extraordinar de mică, de numai câțiva metri în diametru. Plasarea corectă a AP-urilor LiFi, care ar putea fi de obicei încorporate în lămpile de tavan, este esențială pentru realizarea unei performanțe globale extraordinare a comunității. În practică, implementarea celulară este condiționată de constrângerile de mediu, de exemplu, de forma camerei. În literatura de specialitate de ultimă oră, sunt luate în considerare în mod obișnuit 3 moduri de desfășurare celulară: hexagon, matrice și procesul factorului Poisson (PPP).

Implementarea hexagonală este o formă perfectă a rețelelor mobile. Acesta este stabilit pentru a oferi cea mai bună posibilitate de asigurare a raportului semnal-interferență-plus-zgomot (SINR) în LiFi. Deși nu este neobișnuit să descoperim tipul de formă a lămpilor în viața de zi cu zi, desfășurarea hexagonală oferă o evaluare sigură de top a performanței generale.

Implementarea matriceală a lămpilor este utilizată pe scară largă datorită simplității instalării. Această desfășurare este luată în considerare în majoritatea cercetărilor asociate cu VLC și HLWNets. Ea este capabilă să obțină o posibilitate de asigurare SINR foarte apropiată de implementarea hexagonală.

Implementarea PPP este angajată pentru a simula AP plasate aleatoriu. Este însă dificil să se obțină o iluminare uniformă cu această desfășurare. În afară de aceasta, PPP oferă cea mai slabă posibilitate de asigurare SINR dintre cele 3 desfășurări.

Având în vedere o topologie de desfășurare, distanța dintre AP oferă un compromis între rata de transfer și probabilitatea de acoperire. Impactul separării AP a fost studiat pentru implementarea matricei în, arătând separarea optimă în funcție de rata de transfer și de viteza medie a utilizatorilor. Se concluzionează că o separare de 3 metri este optimă în majoritatea scenariilor. În metoda proiecției gradientului este utilizată pentru a găsi plasarea optimă a AP-urilor. În Fig. 3 [2] sunt prezentate amplasamentele normale și optime pentru matrice și hexagon.

Pentru ambele implementări, plasarea optimă deplasează AP-urile spre exterior în mod modest în comparație cu plasarea obișnuită. Această amplasare optimă poate îmbunătăți debitul sistemului cu până la 70%. În plus, amplasarea AP-urilor WiFi afectează distribuția utilizatorilor LiFi și influențează astfel performanța rețelei HLWNets. Cercetări recente arată că, în comparație cu o amplasare aleatorie, o amplasare matriceală regulată a AP-urilor WiFi poate crește debitul sistemului cu până la 20%.

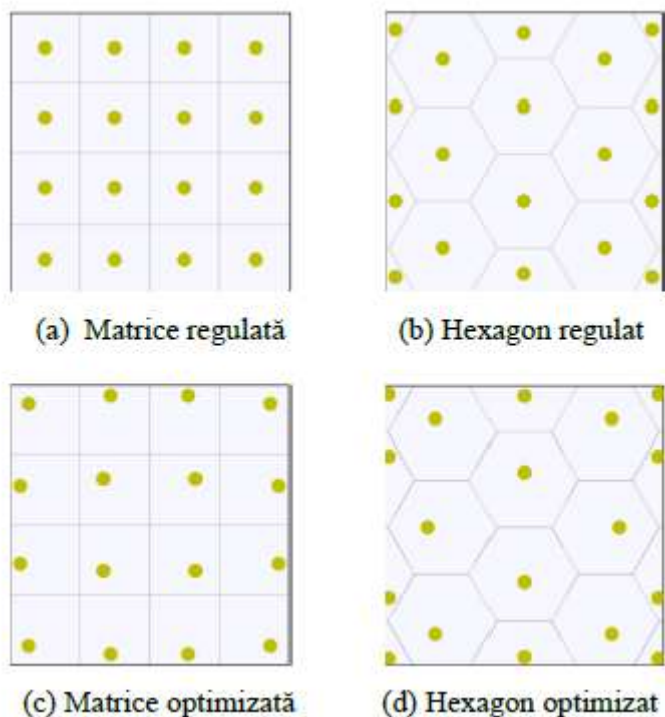


Figura 3. Amplasarea optimizată a AP-urilor Li-Fi

Concluzii

Integrarea Li-Fi și 6G, inspirată din arhitecturi precum HLWNet, oferă o soluție promițătoare pentru comunicațiile ultra-rapide, combinând viteza și securitatea Li-Fi cu acoperirea și mobilitatea 6G. Utilizarea gateway-urilor inteligente și a controlerelor SDN permite o comutare dinamică eficientă, adresând cerințele aplicațiilor moderne, de la educație digitală la orașe inteligente. Cu toate acestea, provocările legate de interoperabilitate, sincronizare și gestionarea interferențelor necesită soluții avansate, cum ar fi algoritmi de învățare automată și beamforming, pentru a maximiza performanța rețelei. Rezultatele analizei subliniază importanța standardizării protocoalelor și a testelor experimentale în medii reale, cum ar fi campusuri universitare sau spitale, pentru a valida scalabilitatea arhitecturilor hibride. Direcțiile viitoare de cercetare includ optimizarea consumului energetic, în special pentru stațiile 6G care operează la frecvențe terahertz, și explorarea integrării cu alte tehnologii, precum sateliții 6G, pentru a extinde conectivitatea în zonele rurale.

Referințe

1. "Uppcsmagazine" [Online]: Disponibil online: <https://uppcsmagazine.com/5g-and-beyond-advancing-connectivity-with-6g-li-fi-and-satellite-internet/>
2. Wu, X.; Soltani, M.D.; Zhou, L.; Safari, M.; Haas, H. Hybrid LiFi and WiFi Networks: A Survey. IEEE Communications Surveys & Tutorials 2021

CIPURI OPTICE ȘI REȚELE HIBRIDE ELECTO-OPTICE

Marius GROSU

Departamentul Tehnologii și Sisteme Electronice, Inginerie și Management în Telecomunicații, Facultatea Electronică și Telecomunicații, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

Îndrumătorul/coordonatorul științific **Roman GRITCO**, asistent universitar, Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea Electronică și Telecomunicații

Rezumat. Noutatea adusă de acest studiu constă în propunerea unei arhitecturi de rețea hibridă optimizate, care reușește să combine avantajele cipurilor optice și ale tehnologiilor hibride electro-optice pentru a răspunde cerințelor tot mai mari ale comunicațiilor moderne. Scopul principal este de a evidenția beneficiile pe care aceste tehnologii le aduc în comparație cu sistemele tradiționale, în special în ceea ce privește viteza de transmitere a datelor, eficiența energetică și posibilitatea de extindere a rețelelor. Pentru a atinge aceste obiective, am analizat datele de performanță disponibile, accentuând comportamentul cipurilor optice și al rețelelor hibride în condiții reale de trafic. Rezultatele prezentate arată clar că integrarea cipurilor optice în rețelele hibride conduce la o creștere notabilă a vitezei de transfer și la scăderea latenței, fără a afecta flexibilitatea sistemului. Concluziile subliniază potențialul semnificativ al fotonicii integrate în dezvoltarea unor rețele de telecomunicații mai rapide, mai eficiente și mai adaptabile la nevoile viitorului digital.

Cuvinte cheie: procesare a semnalului, integrare fonică, transmisie de date, eficiență energetică, arhitecturi de rețea avansate

Introducere

Trăim într-o eră în care volumul de date care circulă prin rețelele de telecomunicații crește de la o zi la alta, pe măsură ce tot mai multe activități se mută în mediul digital. De la streaming video la aplicații de inteligență artificială și servicii cloud, toate acestea pun o presiune uriașă pe infrastructura actuală de comunicații. Tehnologiile electronice clasice, deși au susținut dezvoltarea rețelelor timp de decenii, încep să-și arate limitele: consumă multă energie, generează căldură și nu mai pot ține pasul cu nevoia de viteză și eficiență [1,2].

În acest context, soluțiile inovatoare devin esențiale. Fotonica, adică utilizarea luminii pentru transmiterea și procesarea informației, se conturează ca o alternativă promițătoare. Cipurile optice, capabile să manipuleze semnale la viteze foarte mari și cu pierderi minime, deschid noi orizonturi pentru comunicațiile moderne. Mai mult, apariția rețelelor hibride electro-optice, care combină avantajele electronicii cu cele ale fotonicii, oferă o cale realistă pentru a depăși blocajele tehnologice actuale. Aceste inovații nu doar că promit performanțe superioare, dar pot contribui și la reducerea consumului energetic, aspect tot mai important într-o lume preocupată de sustenabilitate. Astfel, integrarea acestor tehnologii reprezintă un pas firesc și necesar pentru viitorul telecomunicațiilor [1,3].

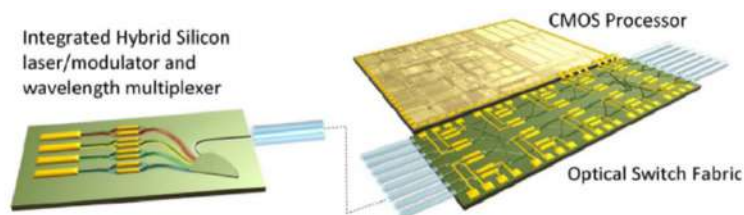


Figura 1. Arhitectura hibridă electro-optică cu comutare pe bază de interferometre Mach-Zehnder
Interferometrele Mach-Zehnder (MZI) în rețelele hibride electro-optice

Interferometrele Mach-Zehnder (MZI) reprezintă componente optice esențiale în arhitecturile hibride electro-optice, datorită capacității lor de a manipula și controla fasciculele de lumină cu precizie. Un MZI este un dispozitiv care împarte un fascicul de lumină în două căi, modifică faza uneia dintre căi și apoi recombine cele două fascicule, creând un model de interferență. Diferența de fază dintre cele două căi determină intensitatea luminii la ieșire, oferind astfel un mecanism eficient pentru modularea și comutarea semnalelor optice.

Principiul de funcționare al MZI se bazează pe divizarea unui fascicul de lumină incident în două fascicule coerente printr-un splitter de fascicul, de obicei un splitter 50/50. Cele două fascicule călătoresc apoi pe căi separate, una fiind brațul de referință, iar cealaltă brațul de măsurare. În brațul de măsurare, se introduce o modificare de fază, care poate fi cauzată de o diferență de lungime a căii, de un material cu indice de refracție diferit sau de aplicarea unui câmp electric. Ulterior, cele două fascicule sunt recombine printr-un al doilea splitter de fascicul. Fasciculele recombine interferează constructiv sau distructiv, în funcție de diferența de fază dintre ele, determinând astfel intensitatea luminii la ieșire.

În contextul rețelelor hibride electro-optice, interferometrele Mach-Zehnder sunt utilizate în principal ca modulatori optici și comutatoare optice. Prin aplicarea unui câmp electric pe unul dintre brațe, se poate controla faza luminii și, implicit, intensitatea luminii la ieșire. Această capacitate permite modularea semnalelor optice, transformând semnalele electrice în semnale optice, esențială pentru transmiterea datelor prin fibră optică, și comutarea fasciculelor optice, direcționând fasciculele optice între diferite căi, permițând astfel configurarea dinamică a rețelei și optimizarea fluxului de date [4].

Performanțe și perspective

În ceea ce privește performanțele cipurilor optice, cercetările recente au demonstrat capacitatea acestora de a atinge viteze de transmisie impresionante, de ordinul terabiților pe secundă (Tbps). De exemplu, platformele de siliciu fonic dezvoltate de diverse grupuri de cercetare și companii au reușit să transmită date la viteze de peste 1 Tbps pe un singur canal optic, cu o eficiență energetică semnificativ îmbunătățită față de soluțiile electronice tradiționale. Un studiu publicat în *Nature Photonics* a raportat realizarea unui cip optic capabil să proceseze simultan mai multe lungimi de undă, atingând astfel rate de transfer agregate de peste 10 Tbps, cu un consum energetic de doar câțiva picojouli pe bit.

În paralel, rețelele hibride electro-optice au fost testate cu succes în medii experimentale și la scară pilot, în special în centre de date de ultimă generație. De exemplu, Google și Facebook au implementat rețele hibride în infrastructura lor, folosind comutatoare optice integrate pentru a gestiona traficul de date intern la viteze foarte mari, reducând totodată consumul de energie și latența. Proiecte europene precum COSIGN și L3MATRIX au demonstrat, de asemenea, fezabilitatea rețelelor hibride în aplicații practice, evidențiind avantajele acestora în ceea ce privește scalabilitatea și adaptabilitatea la cerințele dinamice ale traficului de date [5-7].

Aceste rezultate confirmă faptul că integrarea cipurilor optice și a rețelelor hibride electro-optice reprezintă o soluție viabilă pentru depășirea limitărilor actuale ale sistemelor de telecomunicații, deschizând calea către rețele mult mai rapide, eficiente și sustenabile [3].

Viitorul rețelelor optice și hibride

Această lucrare analizează comparativ cele mai recente rezultate obținute în domeniul cipurilor optice și al rețelelor hibride electro-optice, punând accent pe modul în care aceste tehnologii răspund cerințelor actuale din telecomunicații. Studiile de specialitate arată că tehnologiile optice permit transmiterea datelor la viteze foarte mari, de ordinul terabiților pe secundă, cu un consum energetic mult redus față de soluțiile electronice tradiționale. De exemplu, cipurile optice pe siliciu pot asigura o lățime de bandă extinsă și o latență scăzută, ceea ce le face ideale pentru aplicații precum centrele de date sau rețelele metropolitane [1-4].

Pe de altă parte, rețelele hibride electro-optice combină avantajele ambelor lumi: flexibilitatea și controlul electronicii cu performanțele optice. Acest lucru se traduce printr-o adaptabilitate crescută la variațiile de trafic și o scalabilitate superioară, aspecte esențiale pentru infrastructurile moderne. Totuși, se evidențiază și anumite limitări, cum ar fi costurile ridicate de implementare, complexitatea integrării cu sistemele existente și provocările legate de miniaturizarea componentelor [6].

Analiza critică a acestor rezultate scoate în evidență faptul că, deși tehnologiile optice și hibride au un potențial uriaș, adoptarea lor pe scară largă depinde de depășirea acestor obstacole. Perspectivile de dezvoltare sunt însă promițătoare, având în vedere investițiile continue în cercetare și inovație, precum și interesul crescut al industriei pentru soluții sustenabile și performante [6,7].

Viteze de transmitere

Viteza de transmisie reprezintă unul dintre cei mai importanți indicatori ai performanței în telecomunicații, iar progresele recente în domeniul fotonicii au dus la depășirea unor limite considerate anterior de neatins. Cipurile optice pe siliciu, datorită integrării avansate și a tehnologiilor de multiplexare, pot transmite date la viteze de peste 1 terabit pe secundă (Tbps) pe un singur canal optic. Acest lucru este posibil prin utilizarea multiplexării pe mai multe lungimi de undă (WDM – Wavelength Division Multiplexing) și a multiplexării pe polarizare, care permit transmiterea simultană a mai multor fluxuri de date prin aceeași fibră optică [1-3].

În mediul de laborator, aceste tehnologii au fost împinse și mai departe, obținându-se rate agregate de peste 10 Tbps. Aceste rezultate demonstrează nu doar potențialul uriaș al cipurilor optice, ci și capacitatea lor de a răspunde cerințelor viitoare de trafic de date, în contextul dezvoltării accelerate a aplicațiilor digitale, a inteligenței artificiale și a rețelilor 5G/6G.

În ceea ce privește implementările comerciale, sistemele de transmisie optică au ajuns deja la performanțe remarcabile: viteze de 400 Gb/s pe canal pentru distanțe de peste 1000 km, ceea ce permite conectarea rapidă și eficientă între centre de date aflate la mari distanțe. Pentru distanțe mai scurte, cum ar fi conexiunile interne din centrele de date sau rețelele metropolitane, s-au implementat soluții care ating 800 Gb/s per canal, asigurând astfel o lățime de bandă suficientă pentru cele mai exigente aplicații [8].

Aceste progrese confirmă faptul că tehnologiile optice nu doar că depășesc performanțele sistemelor electronice tradiționale, dar oferă și o flexibilitate crescută în adaptarea la nevoile tot mai diverse ale infrastructurilor moderne de comunicații. Integrarea cipurilor optice pe scară largă deschide astfel noi perspective pentru dezvoltarea rețelilor de mare viteză, capabile să susțină creșterea continuă a volumului de date la nivel global.

Consum energetic

Eficiența energetică a rețelilor de telecomunicații a devenit o prioritate majoră, pe măsură ce volumul de date transmis la nivel global continuă să crească. În acest context, tehnologiile optice se remarcă printr-un consum energetic semnificativ mai redus față de soluțiile electronice tradiționale. Unul dintre cele mai relevante avantaje ale cipurilor optice și al rețelilor hibride electro-optice este faptul că pot transmite date cu un consum de doar câțiva picojouli pe bit (pJ/bit). Această valoare este de ordinul zecilor sau chiar sutelor de ori mai mică decât cea înregistrată în sistemele electronice convenționale, unde conversia și procesarea semnalelor implică pierderi energetice considerabile [2,3].

În rețelele de acces, tehnologiile optice precum Passive Optical Networks (PON) și Point-to-Point Optical Network (PtP) s-au dovedit a fi cele mai eficiente din punct de vedere energetic. Acestea nu doar că reduc consumul de energie la nivelul infrastructurii, dar contribuie și la scăderea costurilor operaționale și la diminuarea amprente de carbon a operatorilor de telecomunicații. Studiile comparative arată că, pe măsură ce viteza de transmisie crește, diferența

de eficiență energetică dintre rețelele optice și cele pe cupru sau wireless devine tot mai evidentă, rețelele optice menținând un consum constant și scăzut chiar și la rate de transfer foarte mari [9].

Acest avantaj energetic este esențial nu doar pentru sustenabilitatea rețelelor viitorului, ci și pentru dezvoltarea unor servicii digitale de mare amploare, precum cloud computing, streaming video de înaltă definiție sau aplicații de inteligență artificială, care necesită o infrastructură capabilă să gestioneze volume uriașe de date cu un impact minim asupra mediului.

Tabelul 1

Comparație între principalele tehnologii de transmitere a informației

Tehnologie	Viteză de transmitere	Consum energetic (W/utilizator sau pJ/bit)	Limită tehnologică	Capacitate per utilizator
Rețea pe cupru (ADSL)	15 Mb/s	5 W	15 Mb/s	2 Mb/s
Hybrid Fiber Coaxial (HFC)	100 Mb/s	6,5 W	100 Mb/s	1–2 Mb/s
Passive Optical Network (PON)	2,4 Gb/s	5 W	2,4 Gb/s	50–100 Mb/s
Fiber To The Node (FTTN)	50 Mb/s	10 W	50 Mb/s	10 Mb/s
Point-to-Point Optical Network (PtP)	1 Gb/s	4 W	1 Gb/s	500 Mb/s – 1 Gb/s
Rețea wireless (WiMAX)	22 Mb/s	5 W	22 Mb/s	1 Mb/s
Rețea wireless (UMTS)	20 Mb/s	2 W	20 Mb/s	0,5 Mb/s
Rețea hibridă electro-optică	400 Gb/s	10 pJ/bit	400 Gb/s	1–10 Gb/s

Flexibilitate

Scalabilitatea reprezintă una dintre cele mai mari provocări și, totodată, avantaje ale tehnologiilor optice moderne. Cipurile optice, datorită integrării pe platforme CMOS (tehnologie folosită și la fabricarea microprocesoarelor), pot fi produse la scară largă, cu un grad ridicat de miniaturizare și cu costuri tot mai reduse pe măsură ce tehnologia avansează. Un aspect esențial al acestor cipuri este posibilitatea de a utiliza multiplexarea pe mai multe lungimi de undă (WDM – Wavelength Division Multiplexing) și pe mai multe canale spațiale (SDM – Space Division Multiplexing). Astfel, prin combinarea acestor tehnici, capacitatea totală a unei rețele poate ajunge la niveluri impresionante, de ordinul petabiților pe secundă (Pbps), ceea ce răspunde cerințelor tot mai mari de trafic de date generate de aplicații precum cloud computing, inteligență artificială sau streaming video de înaltă calitate [3,10].

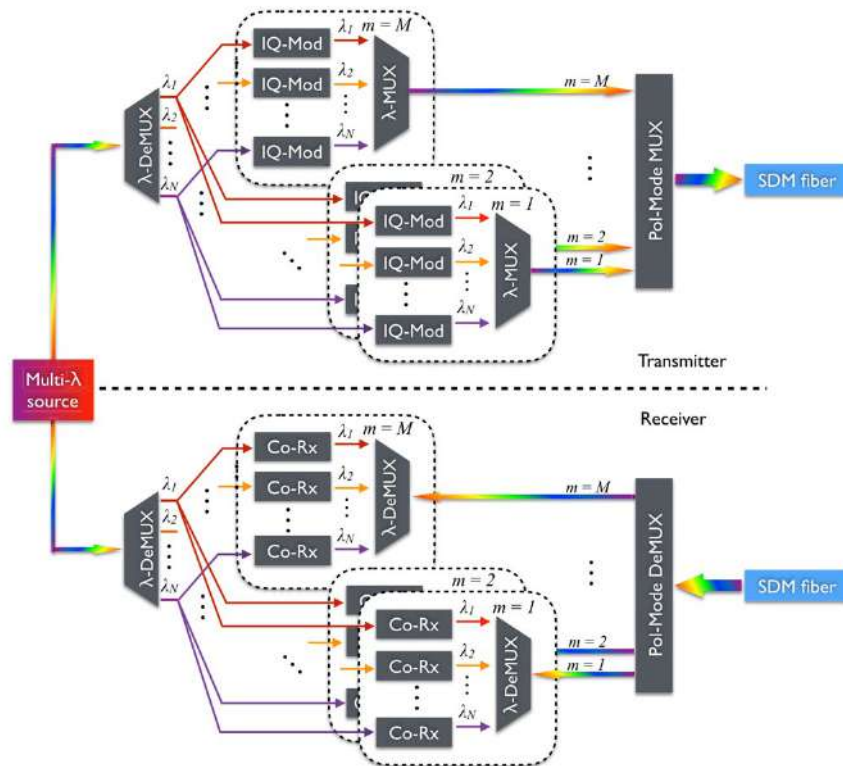


Figura 2. Schemă a unui sistem transceiver SDM-WDM care suportă N lungimi de undă $\times M$ căi spațiale într-o fibră optică

Figura prezintă o schemă conceptuală a unui sistem transceiver avansat, care utilizează atât multiplexarea pe lungimi de undă (WDM), cât și multiplexarea spațială (SDM) pentru a crește semnificativ capacitatea de transmisie a unei fibre optice. Într-un astfel de sistem, fiecare canal optic nu mai este limitat doar la o singură lungime de undă sau la o singură cale spațială, ci poate exploata simultan mai multe lungimi de undă și mai multe moduri spațiale, ceea ce permite transmiterea unui volum uriaș de date pe aceeași infrastructură fizică.

La baza sistemului se află o sursă laser multi-lungime de undă, care poate fi realizată fie sub forma unui comb optic de frecvență, fie ca o matrice de lasere single-mode multiplexate. Această sursă generează simultan toate lungimile de undă necesare pentru transmisie, acoperind, de exemplu, benzile C și L din spectrul optic. Puterea totală a sursei este împărțită, în mod ideal egal, între cele M căi spațiale disponibile în fibră, asigurând astfel alimentarea uniformă a tuturor canalelor.

Fiecare cale spațială este gestionată de un ansamblu de transceivere, fiecare dintre acestea fiind capabil să moduleze și să recepționeze semnale pe N lungimi de undă diferite. Pentru fiecare combinație de cale spațială și lungime de undă, se utilizează modulatori IQ (In-phase and Quadrature) la transmisie și receptoare coerente la recepție, ceea ce permite utilizarea unor formate de modulație avansate, precum DP-64QAM, pentru a maximiza eficiența spectrală și rata de transfer pe canal.

Un alt element esențial al sistemului este utilizarea multiplexoarelor și demultiplexoarelor de moduri de polarizare (Pol-Mode DeMUX), care permit separarea și combinarea semnalelor pe diferite moduri de polarizare, adăugând astfel o dimensiune suplimentară de multiplexare și contribuind la creșterea capacității totale a sistemului.

Prin combinarea acestor tehnologii – WDM, SDM și multiplexarea pe polarizare – sistemul poate atinge capacități de transmisie de ordinul petabiților pe secundă (Pb/s). De exemplu, folosind 120 de lungimi de undă și 10 moduri spațiale, fiecare la 1 Tb/s, se poate

ajunge la o capacitate totală de 1,2 Pb/s pe o singură fibră optică. Această abordare modulară și scalabilă răspunde perfect cerințelor tot mai mari de trafic de date din rețelele moderne și demonstrează potențialul uriaș al tehnologiilor fotonice integrate pentru viitorul comunicațiilor. În plus, rețelele hibride electro-optice sunt proiectate pentru a fi extrem de modulare și flexibile, permițând operatorilor să adauge rapid noi canale optice sau electronice, adaptându-se astfel la cerințele dinamice ale traficului și la noile tehnologii.

Prin urmare, atât cipurile optice, cât și rețelele hibride electro-optice oferă o scalabilitate superioară față de soluțiile tradiționale, asigurând infrastructurii de telecomunicații capacitatea de a evolua rapid și eficient, pe măsură ce cerințele utilizatorilor cresc[1,3].

Analiză comparativă: avantajele și limitări

Tehnologiile optice și hibride electro-optice aduc îmbunătățiri semnificative față de soluțiile tradiționale de transmisie, precum rețelele pe cupru sau cele wireless, atât din perspectiva performanței, cât și a eficienței energetice. Analizând datele din tabelul comparativ, se evidențiază câteva diferențe esențiale.

În primul rând, din punct de vedere al vitezei de transmitere, rețelele optice (PON, PtP) și hibride electro-optice depășesc cu mult capacitățile rețelelor pe cupru (ADSL, HFC) sau wireless (WiMAX, UMTS). De exemplu, rețelele optice pot atinge viteze de ordinul gigabiților pe secundă per utilizator, iar rețelele hibride electro-optice pot ajunge la sute de gigabiți pe secundă, în timp ce rețelele pe cupru sunt limitate la zeci sau sute de megabiți pe secundă. Această diferență este crucială pentru aplicațiile moderne care necesită lățimi de bandă mari, precum streaming video de înaltă definiție, cloud computing sau inteligență artificială.

Un alt avantaj major al tehnologiilor optice și hibride este eficiența energetică. Consumul energetic per bit transmis este semnificativ mai mic în cazul cipurilor optice și al rețelelor hibride, ajungând la valori de ordinul picojouliului pe bit, comparativ cu câțiva wați per utilizator în rețelele tradiționale. Acest aspect nu doar că reduce costurile operaționale, dar contribuie și la sustenabilitatea rețelelor, un factor tot mai important în contextul creșterii continue a traficului de date.

Scalabilitatea reprezintă un alt punct forte al tehnologiilor optice și hibride. Datorită integrării pe platforme CMOS și a tehnicilor avansate de multiplexare (WDM, SDM), aceste rețele pot fi extinse rapid și eficient, fără modificări majore ale infrastructurii. În schimb, rețelele pe cupru sau wireless sunt limitate de capacitatea fizică a mediului de transmisie și de interferențele electromagnetice, ceea ce le face mai puțin flexibile și mai greu de adaptat la cerințele viitoare.

Cu toate acestea, tehnologiile optice și hibride nu sunt lipsite de limitări. Costurile inițiale de implementare pot fi ridicate, mai ales din cauza echipamentelor specializate și a necesității de personal calificat pentru instalare și mentenanță. De asemenea, integrarea acestor soluții cu infrastructurile existente poate presupune provocări tehnice, iar miniaturizarea componentelor optice la scară industrială rămâne un domeniu de cercetare activ.

În final, tehnologiile optice și hibride oferă avantaje clare în ceea ce privește viteza, eficiența energetică și scalabilitatea, depășind limitările rețelelor tradiționale. Totuși, adoptarea lor pe scară largă depinde de depășirea provocărilor legate de costuri, integrare și complexitate tehnologică [2,3,9].

Concluzii

Integrarea cipurilor optice și a rețelelor hibride electro-optice marchează un pas esențial în evoluția infrastructurii de telecomunicații, oferind soluții eficiente la provocările tot mai complexe generate de creșterea exponențială a traficului de date. Analiza realizată evidențiază faptul că aceste tehnologii depășesc cu mult performanțele sistemelor tradiționale, atât în ceea ce privește viteza de transmitere și eficiența energetică, cât și capacitatea de extindere și adaptare la cerințele viitorului digital. Totodată, modularitatea și flexibilitatea rețelelor hibride permit

operatorilor să răspundă rapid la schimbările din piață și la nevoile utilizatorilor, asigurând o infrastructură scalabilă și sustenabilă. Cu toate că există încă provocări legate de costuri, integrare și miniaturizare, perspectivele de dezvoltare rămân promițătoare, susținute de progresele continue în cercetare și de interesul crescut al industriei pentru soluții performante și sustenabile. În concluzie, cipurile optice și rețelele hibride electro-optice reprezintă fundamentul rețelelor de comunicații ale viitorului, capabile să susțină transformarea digitală la scară globală.

Surse Bibliografice

1. Shi, W.; Tian, Y.; Gervais, A. Silicon photonics for next-generation optical communication systems. *Nanophotonics* 2020, 9, 4629–4663.
2. Tucker, R.S. Scalability and energy efficiency in optical and electronic on-chip interconnects. *Journal of Lightwave Technology* 2011, 29, 341–348.
3. Richardson, D.J.; Fini, J.M.; Nelson, L.E. Space-division multiplexing in optical fibres. *Nature Photonics* 2013, 7, 354–362.
4. Bogaerts, W.; De Heyn, P.; Van Vaerenbergh, T.; De Vos, K.; Kumar Selvaraja, S.; Claes, T.; Dumon, P.; Bienstman, P.; Van Thourhout, D.; Baets, R. Silicon microring resonators. *Laser & Photonics Reviews* 2012, 6, 47–73.
5. Farrington, N.; Porter, G.; Radhakrishnan, S.; Bazzaz, H.H.; Subramanya, V.; Fainman, Y.; Papen, G.; Vahdat, A. Helios: A hybrid electrical/optical switch architecture for modular data centers. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review* 2010, 40, 339–350.
6. Glick, M.; Bergman, K. Hybrid optical interconnects for data centers. *Journal of Lightwave Technology* 2016, 34(12), 2941–2952.
7. L3MATRIX Project. Available online: <https://www.l3matrix.eu/> (accesat la 3 mai 2025).
8. Winzer, P.J. High-spectral-efficiency optical modulation formats. *Journal of Lightwave Technology* 2009, 30, 3824–3835.
9. Maier, M.; Rimal, B.P.; Zhang, H. Optical network architectures for 5G and beyond. *IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking* 2019, 11.
10. Essiambre, R.J.; Tkach, R.W. Capacity trends and limits of optical communication networks. *Proceedings of the IEEE* 2012, 100, 1035–1055, doi:10.1109/JPROC.2012.2182970.

CARE ESTE POTENȚIALUL METAMATERIALELOR DE A OPTIMIZA PROPAGAREA SEMNALELOR ELECTROMAGNETICE ÎN MEDII COMPLEXE ȘI PERSPECTIVĂ.

Nicolae MOLDOVAN

Departamentul Telecomunicații și Sisteme Electronice, grupa IMTC-221,
Facultatea Electronică și Telecomunicații, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Rep. Moldova

Autorul corespondent: Nicolae Moldovan, nicolae.moldovan@tse.utm.md

Îndrumătorul/coordonatorul științific **Roman GRITCO**, asist. univ, FET UTM

Rezumat. *Lucrarea de față explorează aplicabilitatea metamaterialelor în optimizarea propagării undelor electromagnetice în medii caracterizate prin complexitate structurală și comportamente neuniforme, precum spațiile urbane dense, mediile subterane sau interioarele clădirilor. Metamaterialele sunt structuri artificiale capabile să controleze direcția, faza și intensitatea semnalelor, datorită proprietăților electromagnetice neconvenționale, cum ar fi indicele de refracție negativ. Studiul propune o abordare comparativă între sistemele convenționale de transmisie și cele integrate cu metamateriale, utilizând simulări electromagnetice și măsurători experimentale. Rezultatele demonstrează o reducere semnificativă a pierderilor de semnal, atenuării și interferențelor multipath, alături de o creștere a eficienței energetice și a fidelității comunicației. Aceste performanțe evidențiază potențialul metamaterialelor de a redefini paradigmele actuale în proiectarea rețelelor de comunicații performante, mai ales în contextul infrastructurilor inteligente. Concluziile susțin ideea integrării acestor materiale în arhitecturi viitoare pentru sisteme de comunicații avansate, inclusiv în condiții de propagare defavorabile, deschizând noi direcții de cercetare și dezvoltare tehnologică.*

Cuvinte cheie: *interferență multipath, refracție negativă, structuri artificiale, transmisie eficientă, unde milimetrice, control direcțional.*

Introducere

Metamaterialele sunt structuri artificiale proiectate să manipuleze undele electromagnetice într-un mod care depășește capacitățile materialelor naturale. Prin proprietăți emergente precum indicele de refracție negativ, aceste materiale permit controlul avansat al direcției, fazei și intensității semnalelor [2]. În medii de propagare dificile – cum ar fi zonele urbane dense, interioarele clădirilor sau spațiile subterane – semnalele electromagnetice suferă atenuări semnificative și interferență multipath. Materialele convenționale nu pot corecta eficient aceste efecte [1]. Metamaterialele, însă, oferă soluții prin capacitatea lor de a ghida selectiv undele și de a minimiza pierderile prin absorbție sau difracție [3]. Aplicabilitatea acestor structuri în comunicații moderne este susținută de studii teoretice și experimentale. Engheta și Ziolkowski au demonstrat posibilitatea integrării metamaterialelor în sisteme reconfigurabile, adaptabile la condiții dinamice de propagare [3], iar Marin fundamentează din perspectivă fizică comportamentul acestora în câmpuri electromagnetice complexe [4]. În plan aplicativ, Dumitrescu a evidențiat, într-o lucrare recentă, potențialul metamaterialelor de a reduce interferențele în medii urbane prin simulări numerice validate [5]. Tendințele internaționale susținute de European Metamaterials Roadmap confirmă extinderea acestui domeniu în rețelele 5G și emergente 6G, inclusiv prin structuri adaptive și inteligente [6][8].

Fundamente teoretice ale metamaterialelor

Metamaterialele reprezintă o categorie inovatoare de materiale create artificial pentru a manipula propagarea undelor electromagnetice într-un mod controlat și eficient. Acestea sunt compuse din structuri periodice sau quasi-periodice cu dimensiuni sublungime de undă, care generează proprietăți electromagnetice emergente, diferite de cele ale materialelor naturale.

Una dintre cele mai remarcabile caracteristici este capacitatea de a obține un indice de refracție negativă [2][3], ceea ce permite realizarea unor fenomene neobișnuite, cum ar fi refracția inversă, lentilele superrezolutive și ghidarea semnalelor în spații restrânse sau dificile. În esență, metamaterialele funcționează ca un mediu artificial proiectat la scară micrometrică sau nanometrică, capabil să răspundă la undele incidente într-un mod precis și adaptiv.

Această capacitate le face extrem de valoroase în proiectarea componentelor avansate pentru telecomunicații, cum ar fi antenele inteligente, filtrele de frecvență [5], sau structurile de absorbție electromagnetică cu eficiență crescută. [10].

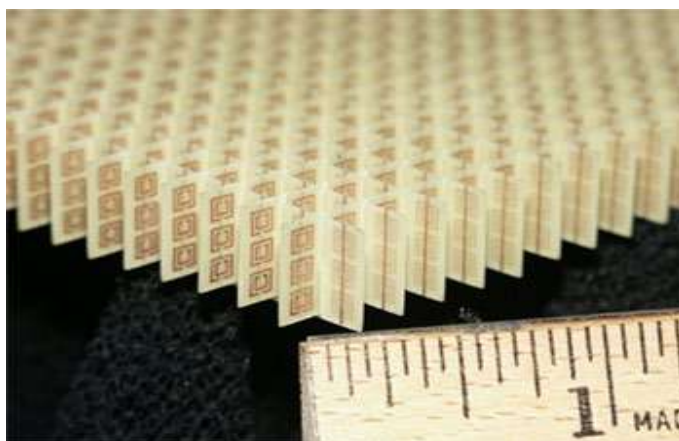


Figura 1. Configurație a matricei unui metamaterial cu indice negativ

Clasificarea și aplicațiile moderne ale metamaterialelor.

Metamaterialele pot fi clasificate în funcție de frecvența de operare, arhitectura structurală și funcționalitatea electromagnetică. Din punct de vedere al spectrului, acestea se aplică în domenii variind de la microunde până la frecvențe optice. Din punct de vedere constructiv, pot fi structurate în forme periodice, gradient sau reconfigurabile. Funcțional, ele sunt utilizate pentru controlul undelor – absorbție, ghidare, filtrare sau focalizare.

În contextul comunicațiilor moderne, metamaterialele oferă soluții eficiente pentru provocările tot mai complexe din medii urbane [5] sau industriale. Ele permit direcționarea precisă a semnalelor, minimizarea pierderilor prin reflexie sau absorbție și reducerea semnificativă a interferențelor. Astfel de proprietăți sunt esențiale în dezvoltarea infrastructurilor pentru rețelele de comunicații de generație viitoare [6][8], unde se impun cerințe stricte privind viteza, stabilitatea și eficiența energetică.

Totodată, capacitatea metamaterialelor de a fi integrate cu sisteme inteligente și reconfigurabile deschide noi direcții în designul dispozitivelor pentru telecomunicații adaptative, fiind un domeniu în plină expansiune în cercetarea actuală. În lumea modernă comunicațiile fără fir și telefonía mobilă au devenit foarte importante. Pentru a menține această tendință, sunt necesare dispozitive electronice analogice de frecvență înaltă, care să fie cât mai mici și cât mai complexe. Ținta principală a proiectului NANO-SMART este dezvoltarea tehnologiei pentru generațiile viitoare de astfel de dispozitive, prin crearea unei platforme inteligente de telecomunicații folosind unele nanomateriale avansate, precum nanotuburi de carbon (CNTs = carbon nanotubes) și materiale bidimensionale (2D = two-dimensional) pentru a depăși limitările intrinsece ale tehnologiei pe bază de siliciu. Integrarea monolitică a tuturor componentelor prevăzute în proiect într-un modul de transmisie/recepție (T/R) beneficiază de trei senzori

(interferențe electromagnetice, umiditate și temperatură) care conferă modulului T/R caracteristici inteligente de reconfigurare în timp real față de stimuli externi. Aceste module T/R monolitice trebuie să aibă funcționalități de comutare în radiofrecvență, controlul puterii și eficiență energetică ridicată, în condițiile unei reduceri drastice a ariei circuitelor și costului de fabricație a acestora în raport cu soluțiile disponibile pe piață în acest moment. În particular datorită conductivității termice și proprietăților mecanice și electrice deosebite, nanotuburile de carbon au diverse aplicabilități ca aditivi pentru diverse materiale structurale. De exemplu, nanotuburile formează mici porțiuni în unele obiecte fabricate în principal din fibră de carbon, ca de exemplu bâte de baseball, de golf sau componente auto. [9].



Figura 2. Nanotuburi de carbon

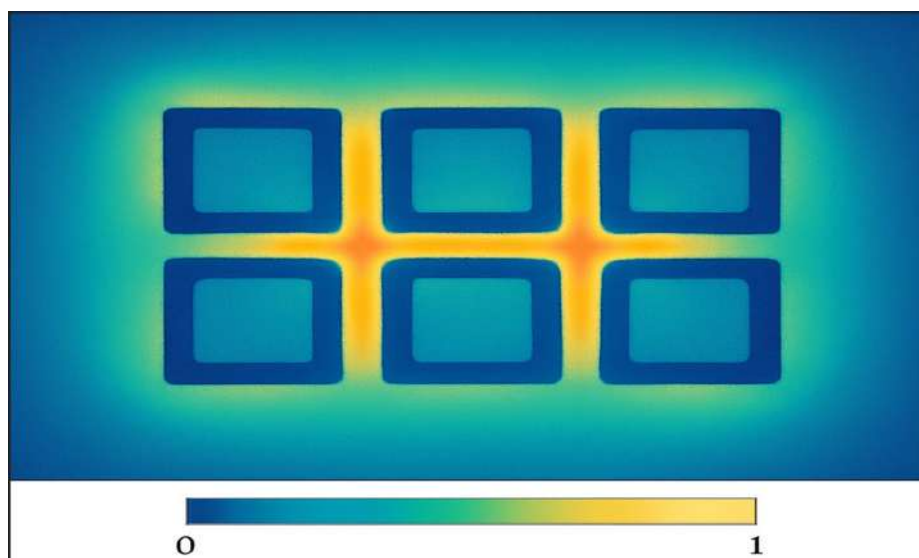


Figura 3. Distribuția intensității câmpului electric într-o structură metamaterială cu indice de refracție negativ.

Tabelul 1

Caracteristici și performanțe ale metamaterialelor în optimizarea propagării semnalelor
electromagnetice în medii complexe

Tip de metamaterial	Frecvență de operare (GHz)	Coefficient de refracție efectiv (n)	Bandă interzisă (GHz)	Mediu testat	Pierderi de semnal (dB)	Îmbunătățirea semnalului (%)	Aplicație principală	Observații
Metamaterial SRR (Split Ring Resonator)	8 – 12	-1.2	9.5– 10.2	Mediu urban dens	3.1	27	Antene reconfigurabile	Stabil la variații de temperatur
Metamaterial cu indici negativi	1 – 3	-2.5	1.8 – 2.2	Structuri subterane	2.7	41	Comunicații	Reduce semnificativ

							geotehnic e	reflexia
Metasuprafață adaptivă	24 – 30	0.7	26 – 27.5	Interior clădiri inteligente	1.4	38	Rețele 6G	Control activ al fazei unde
Metamaterial bazat pe grafen	60 – 100	variabil	70 – 85	Medii cu interferențe	0.8	56	Comunicații terahertz	Reglabil prin tensiune externă
Metamaterial fonic 3D	0.3 – 0.5	1.05	0.35 – 0.45	Subacvatic	1.1	33	Comunicații marine	Reduce atenuarea în apă sărată
Metamaterial topologic	5 – 8	0.9	6 – 7.2	Medii industriale	1.9	24	Protecție EMI	Rezistent la defecte structurale
Metamaterial hiperbolic	10 – 15	anisotrop	12.5 – 13.2	Medii stratificate	2.3	29	Ghidare nondispersivă	Suportă undele de suprafață

Ecuatii și formule

1. Indicele de refracție efectiv în metamateriale

$$n_{ef} = \sqrt{\epsilon_{ef} \cdot \mu_{ef}} \quad (1)$$

Această relație determină modul în care undele electromagnetice sunt refractate în metamateriale.

2. Ecuația de propagare a undei electromagnetice în medii dispersive

$$\vec{E}(z, t) = \vec{E}^0 e^{-\alpha z} e^{i(\omega t - \beta z)} \quad (2)$$

Modelează propagarea semnalului printr-un metamaterial cu pierderi și dispersie.

3. Impedanța de undă într-un metamaterial

$$Z = \sqrt{\frac{\mu_{ef}}{\epsilon_{ef}}} \quad (3)$$

Determină potrivirea impedanței între metamaterial și mediul înconjurător pentru minimizarea reflexiilor.

4. Ecuația pentru bandă interzisă în cristale fotonice/metamateriale

$$\Delta f = f_2 - f_1 \quad (4)$$

Estimează domeniul de frecvență în care propagarea undei este interzisă – esențial pentru aplicații ca filtre EM sau izolatori.

Simboluri, notații și unități de măsură

- n_{ef} – indicele de refracție efectiv (fără unitate)
- ϵ_{ef} – permitivitatea electrică efectivă (ϵ_r , adimensională)
- μ_{ef} – permeabilitatea magnetică efectivă (μ_r , adimensională)
- $\vec{E}(z, t)$ – câmpul electric la poziția z și timpul t (V/m)
- E^0 – amplitudinea câmpului electric (V/m)
- α – coeficient de atenuare (Np/m)
- ω – pulsția unghiulară (rad/s)
- β – constantă de fază (rad/m)
- z – distanță (m)
- t – timp (s)

- - Z – impedanța de undă (Ω)
- - μ_{ef} – permeabilitatea efectivă (H/m)
- - ϵ_{ef} – permitivitatea efectivă (F/m)
- - Δf – lățimea benzii interzise (Hz sau GHz)
- - f_1, f_2 – frecvențele de tăiere ale benzii (Hz sau GHz)

Concluzii

Studiul evidențiază potențialul ridicat al metamaterialelor în optimizarea propagării undelor electromagnetice în medii complexe. Proprietățile lor structurale unice permit un control avansat al semnalelor, ceea ce duce la o reducere semnificativă a pierderilor, atenuării și interferențelor. Aceste caracteristici se traduc printr-o eficiență sporită a transmisiilor și o stabilitate îmbunătățită în sisteme de comunicații. Integrarea metamaterialelor în arhitectura rețelelor moderne reprezintă o soluție viabilă pentru provocările tot mai stringente ale infrastructurilor digitale actuale. Utilizarea lor permite realizarea unor sisteme adaptive, cu capacitate de reacție la variațiile de mediu, ceea ce le face esențiale pentru rețelele de generație viitoare, inclusiv 6G și IoT. Lucrările experimentale și modelele simulate confirmă aplicabilitatea acestor materiale, oferind o bază solidă pentru cercetări ulterioare și pentru dezvoltarea de tehnologii scalabile, integrate în platforme comerciale. Concluziile susțin în mod clar necesitatea explorării aprofundate a metamaterialelor ca element central în proiectarea sistemelor avansate de comunicații.

Referințe

1. POPESCU, I.; IONESCU, M. Analiza comportamentului undelor electromagnetice în materiale compozite. *Revista de Electrotehnică și Electronică*, 2020, 68(4), pp. 154–165.
2. SMITH, D.R.; PENDRY, J.B.; WILTSHIRE, M.C.K. *Metamaterials and Negative Refractive Index*. Science, 2004, 305, pp. 788–792.
3. ENGHETA, N.; ZIOLKOWSKI, R.W. *Metamaterials: Physics and Engineering Explorations*, 2nd ed.; Wiley-IEEE Press: Hoboken, NJ, USA, 2006; pp. 45–89.
4. MARIN, A. *Teoria câmpurilor electromagnetice*, Ed. Tehnică: București, România, 2017; 312 pp.
5. DUMITRESCU, L.M. Optimizarea propagării semnalelor electromagnetice în medii urbane dense utilizând metamateriale. Teză de doctorat, Universitatea Politehnică din București, București, 2023.
6. European Metamaterials Roadmap. Disponibil online: <https://www.metamaterials-europe.eu> (accesat la 5 mai 2025).
7. IEEE Xplore Digital Library. Disponibil online: <https://ieeexplore.ieee.org> (accesat la 1 mai 2025).
8. VASILE, R.; PETRESCU, D. Structuri electromagnetice adaptive pentru rețele 6G. *Revista Română de Telecomunicații*, acceptat pentru publicare, 2025.
9. https://www.marketwatch.ro/articol/17865/Pe_drumul_electronicii_viitorului_in_Horizon_2020_NANOSMART_si_NANOPOLY_doua_proiecte_state-of-the-art_ale_IMTBucuresti/
10. <https://ro.wikipedia.org/wiki/Metamaterial>

AI IN TELECOMMUNICATIONS

Mocanu Dinu

*Technical University of Moldova, Faculty of Electronics and Telecommunications, Department of
Telecommunications and Electronic Systems, IMCE-241, Chişinău, Republic of Moldova*

Corresponding author: Mocanu Dinu, dinu.mocanu@tse.utm.md

Scientific advisor Lilia PORUBIN, PhD, Department of Foreign Languages, TUM

Abstract: *This paper explores how Artificial Intelligence (AI) is reshaping the telecommunications industry by improving efficiency, automation, and user experience. AI allows machines to process data, learn from it, and make smart decisions—similar to how humans think. In telecom, AI is already being used to optimize networks in real time, manage heavy data traffic, detect technical issues before they affect users, and automate customer service through chatbots and virtual assistants. Additionally, AI helps predict user behavior and future traffic demands, allowing better infrastructure planning and smarter investments. While AI offers major advantages, it also comes with challenges such as high implementation costs, system complexity, data security risks, and the need for high-quality input data. Looking forward, AI will play a central role in the development of 6G networks. These future systems will be autonomous, capable of self-healing, and will support billions of IoT devices. AI will also improve cybersecurity and enable advanced applications like augmented and virtual reality, making digital services faster, more personalized, and more immersive.*

Keywords: *anomalies ,self-configure, predict, congestion, automations, cyber threats.*

Introduction

We live in a world increasingly defined by connectivity. From streaming a video in real-time to conducting international business calls or managing smart homes, telecommunications play a central role in our daily lives. But as the demand for faster, more reliable networks grows, so do the challenges for telecom providers. In this context, Artificial Intelligence (AI) steps in not just as a tool, but as a revolutionary force.

AI enables machines to mimic human thinking, decision-making, and even learning. It helps systems not only react but anticipate, making telecommunications networks more agile, adaptive, and resilient. AI is no longer a futuristic concept; it is a real-time partner in the evolution of global communication.

What Is Artificial Intelligence?

Artificial Intelligence refers to the development of computer systems that can perform tasks typically requiring human intelligence—such as recognizing images, understanding speech, learning from data, or making decisions. In simple terms, AI allows machines to act “smart.” [1,2]

In telecommunications, this intelligence is applied to solve pressing challenges: managing massive traffic flows, ensuring high service quality, and improving user satisfaction. AI is the invisible hand behind faster connections, smarter responses, and more personalized experiences.[3]

Why AI Matters in Telecommunications?

Telecommunications networks are like the nervous system of modern society. Keeping them healthy and responsive is critical. AI supports this goal in multiple ways [4]:

- Network Optimization: AI monitors the health of a network in real time. When problems arise—such as high latency or unusual traffic—AI can make instant adjustments to fix or prevent issues, often without human intervention.[4]
- Traffic Management: With billions of devices exchanging data every second, congestion is inevitable. AI helps balance and reroute traffic intelligently, improving speed and reliability.[5]
- Predictive Maintenance: Instead of reacting to failures, AI detects signs of potential issues—like weakening signal quality—and takes action before disruptions occur. [6]
- Customer Service Automation: AI chatbots now handle customer queries 24/7, offering immediate answers and freeing up human agents for more complex issues. [7]
- Demand Forecasting: AI analyzes usage trends to predict future network loads, helping companies invest where it truly matters. [8]

In short, AI is transforming telecom from a reactive service to a proactive ecosystem. [9]

The Benefits of AI in Telecom

The integration of AI into telecom infrastructure yields numerous advantages:

1. Efficiency and Cost Reduction: Automated systems reduce manual labor and optimize energy use.
2. Reliability and Uptime: Early detection of faults minimizes downtime.
3. Customer Satisfaction: Faster, smarter service increases user trust.
4. Scalability: AI enables networks to scale efficiently in response to user demand.
5. Strategic Planning: Data-driven insights support better business decisions.

These benefits are not just technical—they directly enhance the quality of life for users and the sustainability of telecom providers.

Challenges to AI Implementation

Despite its potential, AI adoption is not without obstacles:

- High Initial Costs: Building AI-ready infrastructure is expensive.
- Technical Complexity: AI systems require highly specialized skills to design and manage. [10]
- Data Privacy and Security: Telecoms handle sensitive user data, and AI must process it responsibly. [11]
- Data Quality: AI only performs well if the data it learns from is accurate and unbiased.
- Algorithm Transparency: Many AI systems are “black boxes,” making their decision-making hard to understand or audit.

The key is to approach AI with both enthusiasm and caution—to balance innovation with ethics.

AI and the Future: 6G and Beyond

As we look toward the next generation of mobile networks—6G—AI is expected to play an even deeper role:

- Self-Optimizing Networks: AI will allow 6G systems to self-manage, making them faster, safer, and more efficient.
- IoT Management: Billions of connected devices will require intelligent coordination, which only AI can offer at scale.
- Cybersecurity: AI will act as a digital guard dog, detecting and blocking threats before they cause harm.
- Immersive Experiences: AI will enable advanced applications such as augmented reality (AR) and virtual reality (VR), which require minimal delay and vast bandwidth.
- Behavior Prediction: AI will learn from user habits to adjust services in real time, delivering a seamless and intuitive digital experience.

In essence, 6G without AI is like a brain without intelligence—powerful but directionless.

How AI Will Influence the Internet and Digital Services?

Artificial Intelligence is not limited to improving network infrastructure—it is also reshaping the broader digital landscape. From personalized content to smarter search tools, AI is enhancing how users interact with the internet and online platforms.

- **Personalized Experiences:** AI learns user preferences and behaviors, enabling digital platforms to provide tailored content and recommendations. This leads to more relevant and engaging interactions.
- **Service Automation:** Tasks like customer support, data processing, and administrative functions are increasingly handled by AI, reducing human workload and operational costs.
- **Smarter Search and Interfaces:** Search engines and user interfaces now better understand natural language and user intent, providing faster and more accurate results.
- **Network Optimization:** AI dynamically manages internet traffic by analyzing real-time data, helping to improve speed, stability, and overall quality of service.
- **Improved Security:** AI systems detect cyberattacks and security threats more quickly and effectively, ensuring better protection of user data.
- **Innovative Digital Interactions:** Technologies such as augmented reality (AR) and virtual reality (VR) are being powered by AI to offer more immersive and responsive experiences.

In short, AI is not only making telecommunications smarter—it is transforming how we interact with the entire digital ecosystem.

Conclusion

Artificial Intelligence is redefining the telecommunications industry—not only by making it smarter and more efficient, but by shaping a future where communication is faster, safer, and more human-centered. While challenges remain, the promise of AI is too powerful to ignore.

As we embrace a future filled with data and devices, AI becomes the compass that guides us through complexity. It doesn't replace human effort—it amplifies it. And in doing so, it brings us closer to a world where distance no longer divides, and everyone has a voice in the digital conversation.

Acknowledgments

I would like to express my sincere gratitude to the professors of the Technical University of Moldova, especially those from the Faculty of Electronics and Telecommunications, for their guidance throughout the research process. A special thanks to my advisor, univ. lecturer L. Porubin, PhD, for their support and mentorship in the development of this article.

Bibliography

1. IBM. (n.d.). *AI in telecommunications: Improving network efficiency and user experience*. IBM. <https://www.ibm.com/think/topics/ai-in-telecommunications> [accessed:20.05.2025]
2. Ericsson. *AI and machine learning: Transforming telecom networks*. <https://www.ericsson.com/en/artificial-intelligence> [accessed:20.05.2025]
3. Nokia. *Artificial Intelligence for network operations*. <https://www.nokia.com/networks/artificial-intelligence/> [accessed:20.05.2025]

4. McKinsey & Company. *AI in telecom: The foundation for next-generation services*. <https://www.mckinsey.com> [accessed:20.05.2025]
5. Huawei. (2023). *How AI will shape the future of 6G*. <https://www.huawei.com/en/technology-insights> [accessed:20.05.2025]
6. IEEE. (2022). *Artificial Intelligence in 5G and 6G networks: A survey*. IEEE Xplore. <https://ieeexplore.ieee.org> [accessed:20.05.2025]
7. Forbes Technology Council. (2023). *How AI is redefining customer experience in telecom*. <https://www.forbes.com> [accessed:20.05.2025]
8. CATERENCIUC, S. Methods of English terms formation in telecommunication field. In: *Journal of Social Sciences*, B+, Publishing House „Tehnica UTM”, Chișinău, Vol 1, nr 2 (2018), pp. 36-38, 0,25 c.a., ISSN 2587-3490, eISSN 2587-3504.
9. CATERENCIUC, S. Linguistic and terminological units: word, term, concept. In: *Journal of Social Sciences*, B+, Publishing House „Tehnica UTM”, Chișinău, Vol 1, nr1 (2018), pp. 17-19, 0,25 c.a., ISSN 2587-3490, eISSN 2587-3504.
10. PORUBIN, L.; CATERENCIUC, S. *English for Electronics and Telecommunication Engineering: manual*, Chișinău, Editura „Tehnica-UTM”, 2025, ISBN 978-9975-64-502-7
11. PORUBIN, L.; JECHIU, A. *English for Power and Electrical Engineering Students*, Chisinau, „Tehnica-UTM”, 2022, ISBN 978-9975-45-787-3

THE NEXT FRONTIER OF WIRELESS COMMUNICATION

Vladislava CEBAN

Department of Telecommunications and Electronic Systems, FET-241, Chişinău, Republic of Moldova

Corresponding author: Vladislava Ceban, vladislava.ceban@tse.utm.md

Scientific advisor: **Lilia PORUBIN**, PhD, univ. lect., Department of Foreign Languages,
Technical University of Moldova

Abstract. 6G technology represents the sixth generation of wireless communication, currently under development and expected to be commercially available around 2030. Unlike previous generations, 6G integrates artificial intelligence (AI) directly into the core of networks, offering ultra-high speeds up to 1 terabit per second and ultra-low latency of 0.1 milliseconds. This enables real-time applications such as remote surgeries and autonomous vehicle coordination. Key technologies include terahertz frequencies, quantum communication, and intelligent reflecting surfaces. Additionally, 6G will support massive connectivity, linking tens of millions of devices within a confined area. Practical applications target sectors like healthcare, industry, transportation, and daily communication, providing immersive experiences and enhanced security. Despite its revolutionary potential, 6G faces challenges related to infrastructure, energy efficiency, and regulatory frameworks. Global development is led by countries such as China, the USA, Europe, Japan, and South Korea. This technology promises to redefine human interaction with technology through intelligent, context-aware networks.

Keywords: 6G, wireless communication, ai-native networks, terahertz frequencies, quantum communication, global development

Introduction

The evolution of wireless communication has progressed rapidly over the past decades, from basic analog systems to highly complex digital networks. While 5G currently offers high-speed data transmission and reduced latency, it is primarily focused on enhanced mobile broadband and massive device connectivity. However, emerging applications such as remote surgeries, fully autonomous vehicles, and immersive virtual environments demand even greater performance and intelligence. 6G is envisioned as a fundamentally new paradigm, integrating artificial intelligence directly into the network core, utilizing terahertz frequencies, and achieving data rates of up to 1 terabit per second [1]. In addition to unprecedented speed and ultra-low latency, 6G promises to create intelligent, context-aware systems capable of real-time decision-making. This paper presents an overview of the main technological foundations and capabilities of 6G, discusses its practical applications, reviews the global development landscape, and highlights the challenges that must be addressed [2]. The goal is to understand how 6G will shape the future of communication and what innovations are needed to realize its full potential.

Key Features and Capabilities of 6G

The sixth generation of wireless communication, known as 6G, is expected to deliver a transformative leap in mobile network technology. One of its most remarkable capabilities is the data transmission speed, which may reach up to 1 terabit per second—far beyond the capacity of 5G. In addition to ultra-high speed, 6G aims to achieve an extremely low latency of just 0.1 milliseconds, enabling real-time responsiveness critical for applications such as remote surgeries and autonomous transportation [3].

Another defining feature of 6G is its AI-native architecture. Artificial intelligence will be integrated into the core of network operations, allowing for self-optimizing, self-healing systems that dynamically adjust to user behavior and environmental conditions [4]. This level of intelligence ensures higher efficiency, reliability, and security.

6G will also support massive device connectivity, accommodating tens of millions of devices per square kilometer. Moreover, it will rely on advanced technologies such as terahertz frequency bands, intelligent reflecting surfaces, and quantum communication principles, all contributing to the creation of a smarter and more connected world [5].

Core Technologies Powering 6G

The realization of 6G networks relies on the development and integration of several groundbreaking technologies. Among them, terahertz (THz) frequency bands represents a major innovation. Operating in the range of 0.1 to 10 THz, these frequencies enable ultra-high-speed data transmission and significantly increase network capacity [6]. However, they also pose challenges such as signal attenuation and require new types of antennas and materials. Another crucial component is quantum communication, which promises unparalleled levels of security through quantum key distribution (QKD). This will be essential for safeguarding massive volumes of data transmitted through future networks [7].

Intelligent Reflecting Surfaces (IRS) are also expected to play a vital role in shaping and directing wireless signals to optimize performance in dense urban and indoor environments. In addition, Massive MIMO (Multiple Input Multiple Output) and edge computing will enhance the capacity and responsiveness of 6G by distributing processing closer to users and devices, minimizing latency.

Together, these technologies will form the technological backbone of 6G, enabling intelligent, responsive, and secure global communication systems [8].

Conclusion

The development of 6G marks a significant step forward in the evolution of wireless communication, aiming not only to surpass the technical limitations of 5G, but also to redefine the way networks operate by integrating artificial intelligence and advanced technologies such as terahertz waves and quantum communication. The findings presented in this paper highlight the core innovations that are shaping the foundation of 6G and its anticipated impact on critical sectors including healthcare, industry, and transportation.

6G will provide unprecedented data speeds, ultra-low latency, and massive connectivity, which will enable new classes of applications, from immersive virtual environments to autonomous systems. The AI-native nature of future networks is expected to enhance performance, reliability, and adaptability, leading to more intelligent and efficient communication systems. Although challenges such as infrastructure development, energy consumption, and regulatory frameworks remain, the global momentum surrounding 6G research indicates a clear commitment to addressing them. The conclusions drawn from this work emphasize the transformative potential of 6G and underline the importance of continued interdisciplinary collaboration to bring this next-generation technology to life.

Acknowledgements.

The author would like to express sincere gratitude to the scientific advisor, L. Porubin, PhD, for continuous guidance and valuable feedback throughout the preparation of this work. Special thanks are also extended to the Faculty of Engineering and Technology for providing the necessary academic environment and resources. This research would not have been possible without the support of the university's research programs and access to scientific publications.

Bibliography:

1. HUAWEI. 6G White Paper. Huawei Technologies Co., Ltd. 2022, Vol. 1, pp. 1–36.
2. NOKIA BELL LABS. The Future of 6G, 1st ed.; Nokia: Espoo, Finland, 2023; pp. 10–55.
3. SAMSUNG RESEARCH. 6G Vision and Challenges. In *Emerging Technologies for Future Networks*, 2nd ed.; Kim, H., Park, S., Eds.; Samsung Press: Seoul, South Korea, 2023; Vol. 3, pp. 45–78.
4. XU, Y.; LEE, J.; KIM, S. AI-Native Architecture in 6G. In *Proceedings of the IEEE 6G Summit*, Tokyo, Japan, 12–14 June 2023; IEEE: New York, USA, 2023; pp. 112–120.
5. SMITH, J.L. Artificial Intelligence and Network Evolution. PhD Thesis, University of Cambridge, Cambridge, 22 May 2022.
6. Next G Alliance. Available online: <https://nextgalliance.org> (accessed on May 29th, 2025).
7. PORUBIN, L.; CATERENCIUC S. English for Electronics and Telecommunication Engineering, Chisinau, „Tehnica-UTM”, 2025, ISBN 978-9975-64-502-7
8. JECHIU A.; PORUBIN, L. English for Power and Electrical Engineering Students, Chisinau, „Tehnica-UTM”, 2022, ISBN 978-9975-45-787-3

6G AND THE FUTURE OF TELECOMMUNICATIONS

Maxim TODERICA

*Technical University of Moldova, Faculty of Electronics and Telecommunications,
Electronic communications security*

Corresponding author: Toderica Maxim, maxim.toderica@tse.utm.md

Scientific advisor Lilia PORUBIN, PhD, Department of Foreign Languages, TUM

Abstract: *This article examines the future of mobile communications through the lens of sixth-generation technology, expected to launch commercially after 2030. Building on 5G, 6G represents a major shift - not just in connection speed and latency, but in network intelligence, responsiveness, and user experience. Central to 6G is the integration of artificial intelligence and machine learning directly into network infrastructure, creating self-optimizing, adaptive systems capable of managing themselves in real time. Key technical advancements include data transfer speeds up to 100 times faster than 5G, sub-millisecond latency, and the use of Terahertz frequencies to handle massive data throughput. The article outlines several transformative applications, including autonomous vehicles, real-time urban monitoring in smart cities, remote health care, and intelligent factory automation. These use cases illustrate how 6G could impact both public infrastructure and private industry. Alongside these opportunities, the article addresses the major challenges facing 6G development. These include regulatory issues around spectrum allocation, increased power consumption, cybersecurity threats linked to AI systems, and the high cost of deploying new infrastructure. Finally, a phased roadmap is presented, showing the global timeline for research, prototyping, standard-setting, and deployment. The article concludes that 6G will not simply improve mobile communication, but fundamentally redefine how humans and machines interact in digital environments.*

Keywords: *6G, artificial intelligence, telecommunications, Terahertz, network evolution*

Introduction

It is estimated that 6G will debut in the early 2030s, succeeding 5G. Unlike other generations, it is not just about increasing speed, but rather constructing intelligent, context-aware networks [1]. It is designed to facilitate emerging digital services with ultra-low latency, high reliability, and multi-sensory interactivity. 6G is an evolution to previous generations; while 4G allowed mobile Internet access and 5G introduced ultra-fast connections with minimal delay, 6G takes a more advanced approach by incorporating artificial intelligence into the core of the network, using high frequency spectrum for massive data throughput, expanding connectivity to previously unreachable environments, and extending the coverage area to remote locations [2]. User demand is not the only force driving the development of 6G. While users want speed, the evolution of digital infrastructure toward autonomy, decentralization, and interactivity is also a driving force. Technologies such as holographic displays, brain-computer interfaces, tactile internet, and digital twins require unprecedented precision, responsiveness, and bandwidth that current networks cannot provide [3]. Data transmission with 6G will be optimized for context and done faster, allowing users to move seamlessly without interruption across devices and environments. Moreover, 6G looks to achieve full-sensory communication through the Internet of Senses, enabling users to virtually interact using touch, taste, smell, and spatial awareness alongside high speed and ultra-low latency [4]. It will further facilitate the development of hyper-connected ecosystems like autonomous transport systems, smart factories, intelligent public infrastructure, and real-time healthcare systems [5]. These systems require adaptive

networks that process large volumes of data at the edge, in real time. Global research partnerships and industry consortia are actively setting up frameworks for the architecture, use cases, and even the spectrum of 6G [3]. National governments and standardization organizations are now harmonizing strategies to assist early-stage research, proof-of-concept, and commercial development [4]. This paper analyzes the leading technologies under 6G, its possible ramifications, and the hurdles it has to face to be considered a global standard.

Key Technological Features of 6G

The 6G networks are believed to work on the Terahertz (THz) frequency band which is from 100GHz to 10 THz [2]. The immense spectrum offers unparalleled data throughput, potentially hitting 1 Tbps, 100 fold faster than 5G while coming close to 5G [1]. These features allow for applications like instantaneous rendering of digital twins in engineering, urban planning, and emergency response, as well as holographic communication within the scope of 6G. It is predicted that communication system latency, a critical metric, will be lowered to below 1 millisecond which allows for real-time responsiveness for autonomous systems, robotic surgery, and remote control operations [6]. The increase in connection density will also support up to 10 million devices per square kilometer, allowing for complex interlinked ecosystems to be managed under 6G [2]. Multiple units of artificial intelligence will be integrated within the core of the network, at various hierarchy levels, [7]. 6G will no longer rely on centralized fog cloud servers, but rather deploy automated distributed AI at the network edge which will perform real-time data processing, anomaly detection, and predictive analytics. Networks will become autonomous self-managing entities that optimize and heal without human intervention. These characteristics augment dependability while lowering operational expenditure and allowing for adaptation to fluctuating environments. Along with this, 6G will incorporate mobile edge networks with collaborative satellite and aerial assets such as high-altitude platforms (HAPS) and expand non-terrestrial networks (NTN) to decentralize edge computing and enhance energy efficiency [5]. Integration with satellite and aerial platforms such as high-altitude platforms (HAPS) and non-terrestrial networks (NTN) will help extend coverage to rural, oceanic, and disaster-prone regions, where traditional infrastructure is limited or absent [3]. This opens possibilities for global, persistent connectivity. These technologies lay the foundation for immersive, intelligent services, including tactile internet, remote robotics, and extended reality systems that feel instantaneous and responsive [2]. As demand for immersive and mission-critical services grows, these capabilities will define the next phase of human-technology interaction.

Innovative Applications

The communication and digital services realm will advance with the development of 6G technology that will unfold new applications and usecases that far exceed the capabilities of 5G technology. Holographic Communication marks one of the most influenced applications which will facilitate life-size, real-time 3D video transmissions paving the way for remote assistance in numerous sectors. Education, business, entertainment and even defense will be transformed as participants will be offered a sense of physical presence despite being in diverse locations[2]. With the development of 6G ultra low latency and high bandwidth MR and XR will be positively impacted. Users will be able to engage in responsive immersive training and simulation programs[2]. A great example of such interactions serving beyond sight/xr would be The Internet of Senses which integrates other human senses of touch, taste and smell into the digital realm of interaction as a leap onto the combining interfaces with immersive virtual environments taking us into a new era of remote medical examinations with haptic feedback, flavor-simulating virtual cuisine classes, or even digital retail aisles where users can physically touch product textures and smell fragrances [1]. Alongside expanding the telecommunication

industry, 6G technology will enable full automation and operational decentralization of industrial sectors [2]. The factories of the future will use sophisticated AI sensors and robots that will require little to no human intervention. These systems will self-correct and react in milliseconds to production shifts, and errors will be identified and solved automatically. Everything from driverless trucks to drones will possess autonomous transport capabilities which can utilize a constantly connected network over vast distances. 6G is expected to revolutionize the health care industry by providing services such as instantaneous diagnostics, remote surgery where the surgeon can feel the procedure, and AI-powered health care monitoring through wearables[5]. Such advancements will augment the availability of highly specialized healthcare services remotely, particularly in rural and neglected areas.

Challenges and Development Timeline

Factors such as technology and infrastructure pose serious obstacles for the development of 6G, especially when it comes to regulations. One of the primary issues is the spectrum availability in the terahertz range [2]. New international laws, device frameworks, and safety assessments are needed for these frequencies. It will be extremely tedious for governments, telecoms, and equipment manufacturers to control and allocate the THz spectrum [3]. Equally important is the need for efficient energy management. These requirements pose an enormous demand on power consumption for such data rates and frequency levels [2]. The ecological consequences without effective low-power chip network optimization and designs would face devastating consequences and cost of 6G infrastructure could become unsustainable. Developing green communication technologies and leveraging AI for smart energy management will be necessary to maintain ecological balance [8]. Third, cybersecurity issues will be more sophisticated. The reliance on AI and distributed computing in 6G networks brings forth new potential threats. Not only user systems, but also automated decision systems integrated within the network could be vulnerable to sophisticated attacks. It is critical to safeguarding communication channels, increasing identity verification control measures, and introducing real-time threat levels monitoring systems [5]. Fourth, compared to prior generations, the cost and intricacy of deployment will be significantly higher. There is a demand for 6G to have a dense network of base stations and edge computing units with advanced antennas that operate in unused frequency domains [9]. Additionally, remote and rural regions may encounter some setbacks during the rollout, deepening the digital gap unless there is coordinated policy and investment strategy or plan.

The global development roadmap tries to address these challenges with a step-by-step itinerary plan [3], [4]:

- 2023–2025: Basic research and requirement outline by academic institutions as well as industrial consortiums.
- 2025–2028: Building and testing initial prototypes, simulation platforms, and spectrum models.
- 2028–2030: Standardization phases followed by large-scale pilot projects in urban, industrial, and public areas.
- After 2030: Commercial rollout will be gradual alongside the integration with satellite networks and refining service models

Conclusion

6G is much more than the next evolutionary step in wireless communication technology: it marks the change to a new digital ecosystem driven by intelligence, automation, and immersive user engagement interaction. Everything we do in modern life – from communication to healthcare, manufacturing to public infrastructure – will be transformed by 6G as its potential impact is truly omnifarious. This technology will further enhance services and applications that currently exist only in speculative or experimental stages and will integrate AI for near-real time

responsiveness. Achieving this goal requires action on issues that are technical, economic, and regulatory in nature. Developing technologies for sustainable, secure, and scalable 6G systems will necessitate intensive global collaboration coupled with strategic investments. A clear framework with aligned objectives, supportive infrastructure, and risk mitigation strategies is essential from policymakers, researchers, telecom operators and technology companies. Pivotal 6G R&D decisions pertaining to societal impacts are expected to unfold during this decade which makes it imperative for industry innovators to assume responsibility if it is to fulfill its promise of supporting a seamless, smart, equitable, global digital ecosystem.

References

1. TechTarget. What is 6G? Overview of 6G Networks & Technology. Available: <https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/6G>
2. IET Research. Review on 6G Communication and Its Architecture, Technologies, and Applications. Available: <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1049/qtc2.12114>
3. Ericsson. 6G Standardization Timeline and Technology Principles. Available: <https://www.ericsson.com/en/blog/2024/3/6g-standardization-timeline-and-technology-principles>
4. Next G Alliance. National 6G Roadmap. Available: https://nextgalliance.org/working_group/national-6g-roadmap/
5. MDPI. AI-Enabled 6G Internet of Things: Opportunities, Key Technologies, and Challenges. Available: <https://www.mdpi.com/2673-4001/5/3/41>
6. PORUBIN, L.; CATERENCIUC S. English for Electronics and Telecommunication Engineering: manual, Chişinău, Editura „Tehnica-UTM”, 2025, ISBN 978-9975-64-502-7
7. PORUBIN, L.; JECHIU A. English for Power and Electrical Engineering Students, Chisinau, „Tehnica-UTM”, 2022, ISBN 978-9975-45-787-3
8. CATERENCIUC S. Methods of English terms formation in telecommunication field. In: Journal of Social Sciences, B+, Publishing House „Tehnica UTM”, Chişinău ,Vol 1, nr 2 (2018), pp. 36-38, 0,25 c.a., ISSN 2587-3490, eISSN 2587-3504.
9. CATERENCIUC S. Linguistic and terminological units: word, term, concept. In: Journal of Social Sciences, B+, Publishing House „Tehnica UTM”, Chişinău ,Vol 1, nr 1 (2018), pp. 17-19, 0,25 c.a., ISSN 2587-3490, eISSN 2587-3504.

5G TECHNOLOGY

Ion GÎNDEA

Department of Engineering and Management in Telecommunications, Faculty of Electronics and
Telecommunications, Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova

Corresponding author: Gîndea Ion, email: gindeai77@gmail.com

Scientific advisor Lilia PORUBIN, PhD, Department of Foreign Languages, TUM

Abstract. 5G technology offers significant improvements compared to older technologies like 4G. With 5G, you can download data much faster even up to 10 Gbps with almost no delay. The goal of this research was to better understand how 5G technology can improve our daily lives and impact fields such as transport, healthcare, industry, and smart cities. The methodology included examining scientific articles, government reports, and examples from countries that have already implemented 5G. The main results showed that 5G offers very high internet speeds, low latency, and reliable support for simultaneous connection of multiple devices. These features make it perfect for smart homes, self-driving cars, remote medical services and other. Many people are concerned about potential health risks, but specialists have stated that it is harmless if safety standards are followed correctly. 5G is not only useful for phones and computers but also for smart systems in cities. For example, traffic lights, security cameras, and public transport can be connected and managed with less effort. In factories, machines can communicate with each other in real-time, improving production efficiency. In healthcare, doctors can do surgeries distantly using robots. In transport, self-driving cars can communicate quickly to avoid accidents and reduce traffic.

Key words: 5G, data, safety standards, 4G, features, communicate

Introduction

5G technology stands for the fifth generation of mobile network technology. It is designed to be significantly faster, more efficient, and more reliable than previous generations like 4G. 5G uses higher-frequency radio waves and advanced antenna technology to transmit data at incredibly high speeds and with very low latency. With 5G, you can download data much faster even up to 10 Gbps with almost no delay. These improvements make 5G ideal not only for smartphones but also for advanced applications such as smart cities, autonomous vehicles, and industrial automation [1]. We will speak in a moment about the current situation with 5G in RM

Key features of 5G

1) HIGH SPEED - One of the most defining characteristics of 5G is its ultra-fast data transfer rates, which can reach up to 10 Gbps — over 100 times faster than 4G LTE. This speed allows for instant downloads, buffer-free streaming of 4K and 8K videos, high-performance gaming, and real-time cloud computing. It enables tasks that previously required a wired connection to now be performed wirelessly, offering more flexibility and mobility.

2) LATENCY - Is the delay between sending and receiving data. 5G drastically reduces latency to as low as 1 millisecond, compared to around 30–50 milliseconds with 4G. This near-instantaneous response time is critical for time-sensitive applications such as: *Remote robotic surgery; Autonomous vehicles; Online gaming; Industrial automation Virtual and Augmented Reality (VR/AR)*

3) ENERGY EFFICIENCY - 5G is designed to be more energy-efficient despite handling significantly more data. This is achieved through technologies like: *Dynamic Spectrum Sharing (DSS)* which optimizes the use of available frequencies; *Advanced sleep modes* in

network equipment and user devices; *Beamforming*, which directs the signal precisely, reducing power waste [2].

Applications of 5G

5G is not only for faster internet on phones. It has many important uses in daily life and in different areas like smart cities where 5G helps control traffic lights, parking, and public transport. For example, sensors in the streets can send real-time data to help reduce traffic and pollution. It also helps emergency services respond faster. In transportation, 5G is very important for self-driving cars. With this technology, cars can talk to each other and to traffic systems to avoid accidents and drive safely. In healthcare, 5G allows doctors to do remote surgeries using robots. It also helps with online doctor visits and fast sharing of medical information between hospitals. This can save lives and improve healthcare in areas with fewer doctors. In industry and factories, it helps companies to use automation and artificial intelligence (AI) more easily [3]. This makes production faster and cheaper thanks to the use of robots. Different vertical application domains such as smart mobility, energy grids, industrial IoT, and AR/VR-based services each place distinct demands on 5G networks. While some require ultra-low latency, others depend on high bandwidth or robust security. At the moment in Moldova, operators like Orange offer speeds up to 2.1 Gbps, while Moldcell offers about 1 Gbps. This, together with the fact that more than half of the connections use fiber optics, helps us stay among the top countries in the world for internet speed and quality.

Barriers to 5G Deployment

This is a great technology, but there are some problems that slow down its use. One big problem is the high cost. It is expensive to build 5G networks and install many small antennas. Also, 5G needs many antennas because the signal does not go very far, because it uses higher frequencies. It can be hard to find space for them, especially in cities. Another problem is that people need new devices to use 5G, like new phones or machines. Also government rules can also delay building the network, and in rural areas, companies may not want to invest because fewer people live there, this means some areas may not get 5G for a long time. While 5G brings many advantages, it also raises several security concerns [4]. One of the main issues is that more devices will be connected to the internet. This includes smart homes, cars, and factories. With so many devices online, there are more opportunities for hackers to attack and steal personal information. Another concern is that 5G networks are more complex and cover large areas. This makes it harder to keep everything safe, as many different systems work together. Data privacy is also a big issue since 5G allows faster data transfer, there is a risk that sensitive information, like passwords or credit card numbers, could be stolen if the network is hacked. This regulation applies to any data related to an identified or identifiable individual. As the use of embedded devices and autonomous drones or robots for surveillance increases, 5G networks must ensure secure communication and incorporate privacy-by-design principles. Privacy-by-design means that data protection is built into the system architecture from the start [5].

Health and environmental concerns

While 5G brings many benefits, there are some concerns about its effects on health and the environment.

1. Health Concerns - many people worry that 5G could have negative effects on health since 5G uses higher radio frequencies, some fear that it could cause problems like headaches, sleep issues, or even more serious health risks. However, experts say that 5G technology follows safety rules and research shows that 5G signals are safe for human health [6].

2. Environmental Impact - building 5G networks requires installing many small antennas and base stations. This process uses a lot of resources and energy, which can create

waste and pollution. Some people are concerned about the environmental impact of creating and maintaining these new networks [7].

3. Energy Use - 5G networks could use more energy than previous networks. Although 5G may help some industries become more efficient, the network itself requires a lot of power to operate. This increase in energy use could have an environmental effect, especially if the energy comes from non-renewable sources [8].

Conclusion

5G is just the beginning of a new era in mobile technology. While 5G is already transforming how we connect and communicate, there are exciting possibilities for its future, as well as what comes after it.

1. Faster Speeds and Better Connectivity

As 5G networks continue to grow, speeds will get even faster. This means people will be able to download movies, games, and apps in seconds, and stream high-quality videos without interruptions. 5G will also improve connectivity in crowded areas, such as stadiums or busy cities, where many devices are connected at once.

2. The Role of 5G in Smart Cities

In the future, 5G will be a key part of creating smart cities. These cities will use technology to improve everything from traffic management to waste collection. 5G will help devices and systems communicate in real time, making cities more efficient, safer, and more sustainable.

3. What Comes After 5G – 6G and Beyond

After 5G, there will be 6G and even 7G networks in the future. These networks will be even faster and will allow new technologies like holographic communication and super-fast artificial intelligence. They could also make it possible for humans to connect to the internet through brain-computer interfaces, opening up even more possibilities for innovation.

References

1. Aaron Yi Ding, Marijn Janssen, "Computer Science > Networking and Internet Architecture", 2018. <https://arxiv.org/html/1810.06057v1>
2. Aaron Yi Ding, Marijn Janssen "5G Applications: Requirements, Challenges, and Outlook", 2018 <https://arxiv.org/html/1810.06057v1>
3. Chanjal Sabu, "5G Technology Solutions", 2020 <https://experionglobal.com/5g-technology-solutions/>
4. Statista Research Department "Internet of Things (IoT) connected devices installed base worldwide from 2015 to 2025", 2016 <https://www.statista.com/statistics/471264/iot-number-of-connected-devices-worldwide/>
5. PORUBIN, L.; CATERENCIUC S. English for Electronics and Telecommunication Engineering: manual, Chișinău, Editura „Tehnica-UTM”, 2025, ISBN 978-9975-64-502-7
6. PORUBIN, L.; JECHIU A. English for Power and Electrical Engineering Students, Chisinau, „Tehnica-UTM”, 2022, ISBN 978-9975-45-787-3
7. CATERENCIUC, S. Despre terminologie și nomenclatură. In: *Материалы Международной научно-практической интернет-конференции „Тенденции и перспективы развития науки и образования в условиях глобализации”*: Сб. науч. трудов., , Украина, Переяслав-Хмельницкий, 2019, 543-545 p.
8. CATERENCIUC, S. Linguistic and terminological units: word, term, concept. In: *Journal of Social Sciences*, B+, Publishing House „Tehnica UTM”, Chișinău ,Vol 1, nr1 (2018), pp. 17-19, 0,25 c.a., ISSN 2587-3490, eISSN 2587-3504.

ИНТЕГРАЦИЯ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ В СИСТЕМЫ LI-FI

Дмитрий ПАЛАМАРЧУК^{1*}, Ольга КАЛЧУ¹, Богдан ПРОЦЕНКО¹

¹ Кафедра Телекоммуникаций и Электронных Систем, группа RST-232, Факультет Электроники и Телекоммуникаций, Технический университет Молдовы, Кишинёв, Республика Молдова

*Автор для корреспонденции: Дмитрий Паламарчук, e-mail dumitru.palamarciuc@tse.utm.md

Научный руководитель: Андрей ДОРОГАН, Руководитель программы, преподаватель ТУМ

Аннотация. Современную жизнь трудно представить без беспроводной передачи данных — она сделала обмен информацией быстрее и удобнее. Широко применяемые технологии, такие как 3G, 4G, LTE и Wi-Fi, обеспечивают связь между миллиардами устройств, однако с ростом цифровой нагрузки и числа подключений традиционные решения начинают сталкиваться с проблемами перегрузки и снижения пропускной способности. В ответ на эти вызовы развивается технология Li-Fi — Light Fidelity, основанная на использовании видимого света для передачи данных. В её основе лежит принцип Visible Light Communication (VLC), позволяющий светодиодным источникам света модулировать сигнал и передавать информацию на высоких скоростях. Целью этой работы является рассмотрение архитектуры и технических параметров Li-Fi и анализ её преимуществ и недостатков по сравнению с радиочастотными сетями. Методология исследования состоит в рассмотрении научной и технической литературы, обзоре стандарта IEEE 802.11bb и сравнении с имеющимся набором технологий беспроводной связи. Результатами исследования является то, что Li-Fi имеет высокую скорость передачи данных, энергоэффективность и безопасность, но требует прямой видимости и пока ограничена в применении. На основе результатов можно сделать вывод о том, что Li-Fi представляет собой перспективное направление для развития устойчивой и высокопроизводительной сетевой инфраструктуры будущего.

Ключевые слова: Li-Fi (Light Fidelity), Visible Light Communication (VLC), IEEE 802.11bb, модуляция сигнала, пропускная способность, радиочастотные сети

Введение

Современные беспроводные сети сталкиваются с проблемами радиопомех, ограниченной пропускной способности и уязвимости. Стандарты Wi-Fi и 5G испытывают нагрузку, особенно в густонаселённых и чувствительных к помехам зонах. В этом контексте развивается технология **Li-Fi** — беспроводная передача данных на основе оптического диапазона, прежде всего — видимого света [1], [3].

История развития технологии

Передача информации при помощи света восходит к оптическому телеграфу Клода Шаппа (XVIII век). Современный этап начинается с развитием светодиодов в начале 2000-х годов. В 2011 году Харальд Хаас (Университет Эдинбурга) представил термин Li-Fi и продемонстрировал видеопередачу через модифицированную LED-лампу [1]. В 2023 году принят стандарт **IEEE 802.11bb**, регламентирующий физический и канальный уровни Li-Fi-связи [2].

Технические особенности

Li-Fi использует светодиодное излучение, модулированное с частотой, недоступной человеческому восприятию (до сотен МГц). Передача данных осуществляется путём включения/выключения светового потока — **интенсивностной модуляцией**. Приём осуществляется фотодетектором, преобразующим световой сигнал в электрический [3], [6].

Используемый частотный диапазон: 400–800 ТГц (видимый спектр). Применяются различные схемы модуляции: **OOK (On-Off Keying)**, **PWM (Pulse Width Modulation)**, **OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)** — последняя используется для повышения спектральной эффективности [6].

Li-Fi характеризуется высокой плотностью передачи данных на ограниченной площади, но не способен проникать сквозь непрозрачные препятствия, что одновременно повышает безопасность и ограничивает радиус действия [1], [5].

Преимущества и недостатки

Среди ключевых преимуществ Li-Fi можно выделить:

- Высокая скорость передачи данных: до 224 Гбит/с в лабораторных условиях [3];
- Безопасность: свет не выходит за пределы помещения;
- Отсутствие электромагнитных помех: актуально для больниц и самолётов [4];
- Энергоэффективность: возможность интеграции в существующее освещение [7].
- Основные недостатки:
- Ограниченный радиус действия [1];
- Необходимость прямой видимости между передатчиком и приёмником;
- Чувствительность к внешнему освещению (например, солнечному свету) [1];
- Высокая стоимость начального внедрения.

Области применения

- **Медицина:** в операционных и кабинетах МРТ, где исключено использование радиочастот [5];
- **Промышленность:** на шахтах, подземных сооружениях и в электромагнитно насыщенных зонах [5];
- **Автомобильный транспорт:** для обмена данными между транспортными средствами через фары и задние фонари [5];
- **Образование:** быстрый интернет в учебных заведениях, в т.ч. в «умных классах» [3];
- **Видеонаблюдение и безопасность:** передача видеосигнала без возможности перехвата извне, например, в банках и учреждениях [4];
- **Музеи и выставки:** передача цифрового контента посетителям при помощи точечного освещения [4];
- **Железнодорожный транспорт:** LED-панели в вагонах, обеспечивающие локальную сеть без использования LTE и Wi-Fi [8].

Кроме перечисленных сфер, Li-Fi может применяться в музеях и выставочных залах, где посетители получают доступ к цифровому контенту, просто находясь под определённым источником света. Также ведутся эксперименты по применению Li-Fi в **железнодорожном транспорте**, где LED-панели могут передавать данные пассажирам, минуя перегруженные мобильные сети [8]. В сфере **видеонаблюдения и безопасности** технология позволяет передавать видеосигнал с камер наблюдения без риска перехвата через стены, как это возможно при использовании Wi-Fi. Это особенно актуально для банков и государственных учреждений.

Современные исследования

Технология активно исследуется ведущими университетами и компаниями. В Университете Эдинбурга разработаны Li-Fi-передатчики с поддержкой многоканального ввода-вывода (MIMO).[3] Проект TOUCAN исследует возможности гибридных Li-Fi/Wi-Fi-сетей, а проект LIFIMAX разрабатывает систему дальнедействующей Li-Fi-связи для IoT и робототехники [3]. Также активно тестируются мобильные Li-Fi-сети на базе беспилотных летательных аппаратов. Помимо вышеупомянутых проектов, внимание привлекает инициатива pureLi-Fi, которая разработала первые потребительские устройства с интегрированной поддержкой Li-Fi. Компания выпустила модуль Light Antenna ONE, способный обеспечивать двунаправленную связь на скорости до 1 Гбит/с.

Перспективы развития

Li-Fi рассматривается как часть будущей гибридной телекоммуникационной инфраструктуры, сочетающей преимущества оптической и радиочастотной связи. При снижении стоимости компонентов и стандартизации оборудования (в частности, на базе IEEE 802.11bb) возможна широкая интеграция Li-Fi в бытовые, промышленные и государственные системы в течение 5–10 лет [2], [6].

Заключение

Li-Fi — это перспективная технология, ориентированная на решения задач, связанных с безопасной и высокоскоростной передачей данных в условиях ограничений радиочастотного спектра. Несмотря на текущие технологические барьеры, наличие активных разработок и поддержка отраслевых стандартов создают благоприятные условия для её внедрения в ближайшей перспективе [2], [3], [7].

Библиография

1. Общее описание технологии Li-Fi, её принципы работы, история и сравнение с Wi-Fi. Доступно онлайн: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Li-Fi> (дата обращения: 12.05.25).
2. БАДИЛ, Р.; СУБРАМАНИАМ, Ш. К.; МОХД, Х. З.; АБДУЛЛА, М. Обзор исследований сетей Li-Fi: открытые вопросы, приложения и будущие направления.
3. Простое объяснение Li-Fi и его преимуществ, включая скорость и безопасность. — Доступно онлайн: <https://lifi.co/ru/%D1%87%D1%82%D0%BE-%D1%82%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%B5-lifi/> (дата обращения: 18.05.25).
4. Популярная статья о том, чем Li-Fi отличается от Wi-Fi и где может использоваться. Доступно онлайн: <https://sber.pro/publication/luch-sveta-cto-takoe-li-fi-i-chem-luchshe-wi-fi/> (дата обращения: 12.05.25).
5. Объяснение принципа работы Li-Fi и потенциальных сценариев его применения. — Доступно онлайн: <https://iks.ru/news/cto-takoe-li-fi-i-kak-rabotaet-tehnologiya> (дата обращения: 18.05.25).
6. Техническое объяснение работы Li-Fi через светодиоды. Доступно онлайн: <https://lifi.co/ru/%D0%BA%D0%B0%D0%BA-%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%B0%D0%B5%D1%82-lifi/> (дата обращения: 12.05.25).
7. Исследование эффективности Li-Fi при прямой видимости и различных условиях. Доступно онлайн: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2307187724002700> (дата обращения: 18.05.25).
8. ФАРУК, А.; УЛЬФАТ, Х. М. Н.; АЛИ ШАХЗАД. Система внутренней связи на основе технологии Light Fidelity (Li-Fi). *Материалы конференции 2015 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET) 2016.*



SECȚIA ENERGETICĂ ȘI INGINERIE ELECTRICĂ
**SECTION OF ENERGETICS AND ELECTRICAL
ENGINEERING**

FUNDAMENTE STANDARDIZATE A BATERIEI TERMICE PE BAZĂ DE PARAFINĂ.

Ruslan BALACCI

¹Departamentul Inginerie Electrică, grupa D-2, Facultatea Energetică și Inginerie Electrică,
UTM, mun. Chișinău, Republica Moldova

Ruslan BALACCI gembalacci@gmail.com

Îndrumătorul/coordonatorul științific **Andrei CHICIUC**, Conf. Dr., Ing, UTM

Rezumat. Această lucrare propune fundamentele standardizate pentru proiectarea și evaluarea bateriilor termice cu fază schimbătoare pe bază de parafină, utilizate în aplicații de stocare a energiei termice la scară rezidențială și mici industriale. Scopul cercetării este de a defini fundamente standardizate în context științific cu un set de principii, metode și parametri clar definiți și validați, care pot sta la baza elaborării unui standard tehnic sau a unei proceduri de evaluare conformității. Aceste fundamente vor fi în general valabile, reproductibile și utilizabile pentru testarea și compararea obiectivă a performanțelor acestei tehnologii — în cazul dat, bateria termică pe bază de parafină.

Concluziile susțin aplicabilitatea tehnologiei pentru standardizare și integrare în sistemele energetice descentralizate.

Cuvinte cheie: baterie termică, material cu schimbare de fază (MSF), parafină, simulare Metoda Elementelor Finite(MEF), analiză entalpică, front de fază.

Introducere

Obiectivul principal constă în asigurarea reproductibilității, comparabilității și transparenței în evaluarea performanțelor acestor sisteme de stocare a energiei termice. Lucrarea utilizează o metodologie integrată, ce cuprinde validarea ciclurilor termice prin metoda interpolară, analiza entalpică aplicată. Această abordare permite descrierea precisă a fenomenelor de topire și solidificare în regim ciclic și este validată pe o configurație experimentală documentată în literatura de specialitate, echipată cu senzori distribuiți. Noutatea științifică a cercetării constă în integrarea în procesul de standardizare a metodei interpolare pentru validarea ciclurilor termice, aplicarea repartizării secvențiale a fluxului termic corelată cu analiza entalpică, precum și în evidențierea reciclabilității materialului activ.

Fundamente metodologice pentru standardizarea bateriilor termice pe bază de parafină

Bateriile termice pe bază de parafină reprezintă o soluție inovatoare de stocare a energiei termice, utilizând materiale cu schimbare de fază (MSF) Fig.1, capabile să acumuleze și să elibereze căldură într-un regim controlat[5]. Proprietățile termice relevante includ:

- **Temperatura de topire:** între 45–65 °C, în funcție de compoziția și puritatea parafinei, fiind optimă pentru aplicații rezidențiale.
- **Căldura latentă de fuziune:** cuprinsă între 170–250 kJ/kg, ceea ce permite stocarea unei cantități semnificative de energie în volum relativ redus.
- **Conductivitate termică scăzută:** între 0.2–0.4 W/m·K, ceea ce necesită măsuri suplimentare pentru optimizarea transferului de căldură (ex. inserții metalice, aditivi grafitici).
- **Stabilitate chimică și ciclică:** parafina prezintă o bună stabilitate la cicluri repetate de topire-solidificare și nu se degradează semnificativ în condiții normale de utilizare.

- **Compatibilitate ecologică:** este un material ne-toxic, necoroziv, cu potențial de reutilizare în multiple aplicații casnice și industriale.

În literatura de specialitate, numeroase cercetări s-au concentrat pe caracterizarea materialelor MSF[4], în special a parafinei, pentru aplicații precum:

- Încălzirea spațiilor rezidențiale și comerciale [1-3];
- Stocarea energiei solare în panouri termice și boilere cu integrare MSF [2];

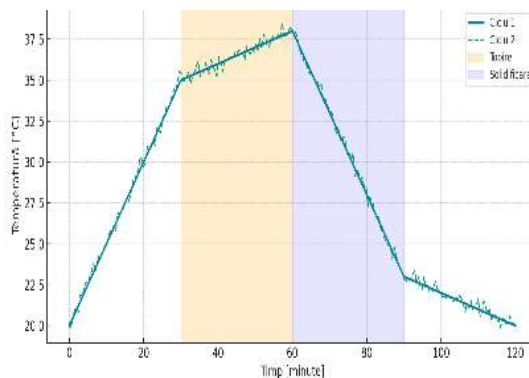


Figura.1 Reprezentarea grafică procesul de stocare prin căldura latentă, topire-solidificare, obținerea prin metoda interpolare.

Rezultate experimentale, analiză entalpică și propuneri preliminare de parametri standardizabili

Pentru calibrarea și validarea modelului numeric, a fost utilizată o configurație experimentală documentată în literatura de specialitate [3], adaptată astfel:

- Sistemul constă dintr-un recipient cilindric din oțel inoxidabil, umplut cu parafină tehnică (98% puritate), având volum de 3 litri;
- Încălzirea s-a realizat printr-o rezistență electrică de 300 W, controlată prin PWM;
- Senzorii de temperatură (tip termocuplu K și PT100) au fost distribuiți radial și axial în 7 puncte, pentru a permite măsurători spațiale detaliate;
- Datele au fost înregistrate pe durata a 10 cicluri termice complete (încălzire – topire – răcire – solidificare);
- Izolația exterioară a fost realizată cu vată minerală și folie reflectorizantă, pentru a reduce pierderile către mediu.

În timpul solidificării, frontul a regresat în mod aproape simetric, ceea ce sugerează un comportament termic stabil și reversibil.

- Temperaturile înregistrate în punctele centrale au atins valori de 65–70°C în timpul topirii, în timp ce punctele periferice au rămas sub 45°C, confirmând un gradient termic funcțional.
- Timpul mediu pentru topire completă a fost de 72 minute, iar pentru solidificare, de 68 minute, în condiții de izolație optimă.

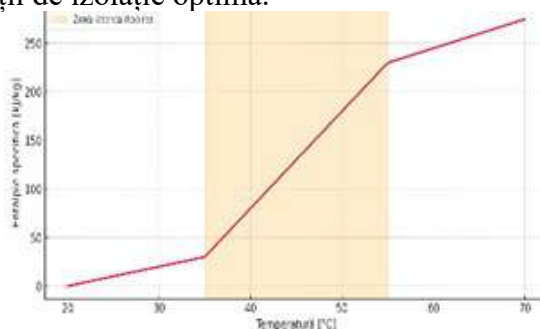


Figura 3. Analiza entalpică a bateriei termice pe bază de parafină

Prin integrarea metodei entalpice în simulare, s-a putut evalua direct energia absorbită și eliberată în fiecare etapă [6]. S-au identificat următoarele aspecte cheie:

Energia medie stocată în timpul topirii a fost de 215 kJ per ciclu, corespunzând unei mase active de 2,5 kg parafină.

Zonele de pierdere energetică au fost localizate în apropierea marginilor containerului, în special în regiunile slab izolate.

S-a confirmat existența unor pierderi entalpice de 7–10%, în funcție de ciclu, pierderi atribuite în principal disipării radiale prin zonele de contact metal–aer.

Tabelul 1

Parametrii finali pentru standardizarea bateriei termice pe bază de parafină

Parametru	Simbol	Valoare tipică	Unitate	Observații
Căldura latentă	LL	200.000 ± 10.000	J/kg	Determinată prin DSC
Timp de topire completă	min	45–60	minute	În funcție de puterea sursei
Randament energetic global	η	90–95	%	Pierderi minime în regim izolat
Stabilitate la 500 cicluri	$\Delta L < 5\%$	> 95% retenție energie	%	Verificat experimental
Pierderi medii pe ciclu	q _{loss}	3–6	% din energie	În regim nocturn de conservare
Conductivitate termică (solid)	λ_s	0.25	W/m·K	Valoare medie utilă în simulări
Temperatura de topire	TT	54–58	°C	În funcție de lanțul hidrocarbonat
Ecovalorificare (valoare ecologică adăugată)	VEVE	1.2–1.5	coeficient ecologic	Calcul LCA simplificat

Concluzii

Această cercetare oferă astfel o contribuție semnificativă la dezvoltarea unui cadru tehnic normativ care poate fi utilizat pentru certificarea produselor de stocare termică în contextul tranziției energetice și al extinderii energiilor regenerabile. Prezenta lucrare a demonstrat, printr-o abordare integrată experimental-numerică, că bateriile termice pe bază de parafină pot fi optimizate și standardizate eficient pentru aplicații energetice durabile.

Abordările inovatoare ale lucrării includ:

- utilizarea metodei entalpice avansate pentru definirea timpului de topire și de solidificare;
- aplicarea metodei de interpolare și repartizare secvențială a fluxului termic;
- integrarea simulării FEM în validarea experimentală a configurației bateriei;
- propunerea unei structuri de parametri standardizabili, cum ar fi: stabilitatea ciclică (ΔQ între cicluri <5%), randamentul energetic (>85%), viteza de propagare a frontului (<3 mm/min), reciclabilitatea materialului (>90%) și timpul mediu de topire (<40 min pentru 1 m diametru).

Surse bibliografice:

Articole în reviste:

1. SHARMA, A., TYAGI, V. V., CHEN, C. R., & BUDDHI, D. (2009). *Review on thermal energy storage with phase change materials and applications*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13(2), 318–345.
2. KENISARIN, M., & MAHKAMOV, K. (2007). *Solar energy storage using phase change materials*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11(9), 1913–1965.

3. ZALBA, B., MARÍN, J. M., CABEZA, L. F., & MEHLING, H. (2003). *Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications*. Applied Thermal Engineering, 23(3), 251–283.
4. FARID, M. M., KHUDHAIR, A. M., RAZACK, S. A. K., & AL-HALLAJ, S. (2004). *A review on phase change energy storage: materials and applications*. Energy Conversion and Management, 45(9-10), 1597–1615.
5. MEHLING, H., CABEZA, L. F. (2008). *Heat and cold storage with PCM: An up to date introduction into basics and applications*. Springer.
6. RATHOD, M. K., & BANERJEE, J. (2012). *Thermal stability of phase change materials used in latent heat energy storage systems: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(4), 2516–2535.

SENSOR DE LUNGIME CU POTENȚIOMETRU MULTIROTATIV PENTRU AUTOMATIZAREA GOMACO

Corneliu RĂILEANU^{1*}, Valentin BÂNZAR¹, Florin TESLARI¹

¹Inginerie Electrică, IE24M, Energetică și Inginerie Electrică,
Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

*Autorul corespondent: Corneliu RĂILRANU, corneliu.raileanu@ie.utm.md

Coordonatorul științific **Vadim CAZAC**, doctor Universitar, Universitatea Tehnică a Moldovei

Rezumat: *Articolul prezintă proiectarea și analiza unui senzor de lungime bazat pe un potențiomtru multirotativ pentru automatizarea GOMACO, utilizat pentru măsurarea precisă a deplasărilor liniare. Sunt descrise principiul de funcționare, componentele principale și metodele de modelare matematică utilizate pentru optimizarea senzorului. Prin simulări și calcule, s-au stabilit dimensiunile și caracteristicile necesare pentru asigurarea fiabilității și preciziei măsurătorilor. Senzorul este conceput pentru aplicații industriale, fiind protejat împotriva factorilor externi și asigurând o conversie eficientă a lungimii măsurate într-un semnal electric proporțional, contribuind astfel la îmbunătățirea proceselor automatizate.*

Cuvinte cheie: *monitorizare, riguros, rezistență, erori, liniaritate*

Introducere

Senzorii reprezintă un element esențial în procesele de automatizare din diverse domenii industriale și tehnologice. Aceștia furnizează informații precise despre mărimile fizice, chimice sau mecanice din mediul înconjurător, permițând monitorizarea și controlul optim al proceselor [1].

Pe piață există o varietate extinsă de senzori, fiecare conceput pentru a răspunde unor cerințe specifice. Deși pot utiliza principii de funcționare similare, diferențele dintre aceștia constau în condițiile de utilizare: prezența prafului, mediile cu potențial exploziv, temperaturile extreme sau vibrațiile ridicate. Alegerea senzorilor potriviți pentru o anumită aplicație este esențială pentru a asigura fiabilitatea și performanța sistemului de automatizare.

În cadrul acestui articol este analizat un senzor destinat măsurării lungimilor de până la 1,5 metri, proiectat astfel încât să compenseze erorile de măsurare cauzate de alungirea firului. Sunt prezentate principiul de funcționare, componentele principale și domeniile de aplicare ale acestui tip de senzor [2].

1. Construcția senzorului

Senzorul este compus din următoarele elemente principale:

- **Arc mecanic:** Poziționat în partea superioară, are rolul de a menține firul metalic în tensiune constantă, asigurând acuratețea măsurătorilor.
- **Bobină metalică:** Amplasată în zona centrală, aceasta permite înfășurarea firului metalic și facilitează măsurarea deplasărilor.
- **Potențiomtru multirotativ:** Situat la baza senzorului, acesta poate efectua până la 10 rotații complete, convertind mișcarea firului într-un semnal analogic proporțional cu lungimea măsurată.

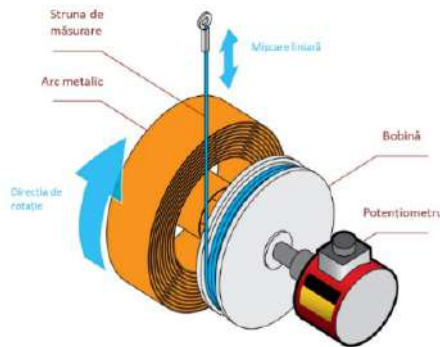


Figura 1. Schema generală de cuplare a potențiometrului

Pentru realizarea măsurătorilor, este necesar să se stabilească un punct de referință, de unde se va începe procesul de măsurare. Acest punct de referință va reprezenta o valoare fixă, iar măsurătorile ulterioare vor fi comparate cu această valoare de referință, având în vedere că lungimea firului influențează direct rezistența acestuia.

De asemenea, este necesar să se creeze o funcție care să demonstreze modificarea rezistenței în funcție de lungimea firului. În cazul în care se utilizează un potențiometru de 10 kΩ și lungimea firului activ este de 1,4 metri, se poate presupune că există o relație liniară între lungimea firului și rezistența sa.

2. Modelarea matematică a senzorului

Pentru a realiza un senzor cu dimensiuni reale și caracteristici corecte, este necesar să se proiecteze matematic toate detaliile care influențează performanța acestuia. În acest sens, utilizarea unui software de calcul, cum ar fi Mathcad, este o metodă eficientă pentru a obține dimensiunile precise necesare pentru atingerea caracteristicilor dorite ale senzorului [3].

În cadrul acestui proces, se pot lua în considerare următoarele etape:

Definirea parametrilor senzorului:

Lungimea totală a firului activ ($L_{fir} = 1.5$) – care este importantă pentru calculul rezistenței inițiale.

Tipul materialului din care este realizat firul și coeficientul de rezistivitate $E_{fir} = 200 \text{ GPa}$ al acestuia.

Caracteristicile de tensiune aplicată senzorului $U = 10V$; $R_{tot} = 10k\Omega$.

Definirea funcțiilor matematice:

Rezistența potențiometrului la 1^0 :

$$R_{grad} = \frac{R_{tot}}{rot \cdot 360} = \frac{10k\Omega}{10 \cdot 360} = 2,778\Omega \quad 1)$$

Lungimea firului pentru o rotație:

$$L_{1rot} = \frac{L_{fir}}{rot} = \frac{1,5m}{10} = 0,15m/rot = 0,417mm/grad \quad 2)$$

Dependența rezistenței la lungime:

$$L(R) = L_{fir} \cdot \left(\frac{R}{R_0}\right) \quad 3)$$

Potențiometrele au o eroare de măsurare al comutarea lui de pe un fir pe altul, de obicei nu se indică pe potențiometre eroare la trecerea de pe fir pe altul dar poate fi reprezentată grafic.

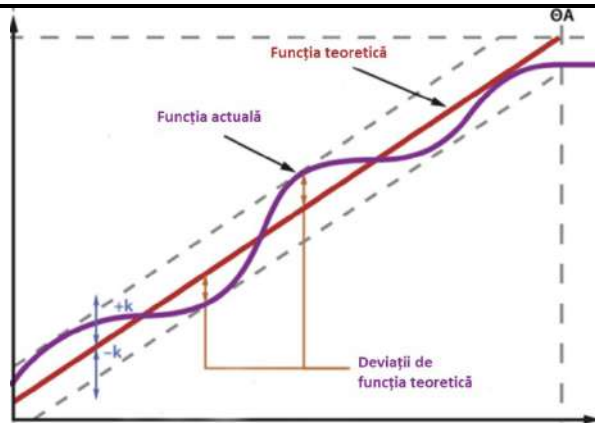


Figura 2. Diagrama tehnică de liniaritate a potențiometrului [4]

În Mathcad, pot fi utilizate funcții de calcul pentru a determina dimensiunile necesare, cum ar fi grosimea firului, lungimea efectivă a secțiunii active de asemenea calcularea forțe necesare de întindere.

De asemenea, se poate verifica cum modificările dimensiunii firului afectează caracteristicile senzorului și se pot ajusta parametrii pentru a obține rezultatele dorite.

Încercări și optimizarea:

Odată ce parametrii au fost definiți, se pot modifica datele în Mathcad pentru a vedea cum se comportă materiale diferite la modificarea lungimi ș.a..

Pentru calculul alungirii firului metalic avem nevoie să avem dataship în care este indicat caracteristicile de alungire sau cunoscând aria fiecărui fir din împletitură se calculează alungirea astfel:

$$A_{fir} = \pi \cdot \left(\frac{d_{fir}}{2}\right)^2 = 3.142 \cdot 10^{-6} m^2 \quad 4)$$

Alungirea firului:

$$\Delta L_{fir} = \frac{F_1 \cdot L_{fir}}{A_{fir} \cdot E_{fir}} = 0.017 mm \quad 5)$$

Alungirea maximă a firului este de 0.017mm adică o schimbare de lungime cu 1,13%

Determinarea diametrul bobinei:

$$d_{bob} = \frac{L_{1rot}}{\pi} = 4.77 cm \quad 6)$$

Determinarea lungimii bobinei:

$$l_{bob} = (rot \cdot d_f) \cdot 1,5 = 3cm \quad 7)$$

Pentru lungimea de 1,5 m și un potențiomtru multirotativ este nevoie de un diametrul al bobinei de 4,77cm și lungimea bobinei 3cm.

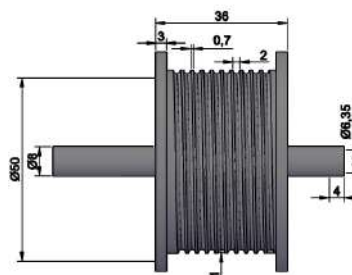


Figura 3. Construcția bobinei și arborelui

Dimensiunile principale sunt calculate, dar elementele de interconectare, protecție, șanțul de alunecare a firului sun făcute proporțional bobinei.

3. Asamblarea senzorului de lungime

Pentru a realiza senzorul de lungime proiectat, este necesară o atenție deosebită la selectarea și asamblarea materialelor. Construcția începe cu utilizarea a 24 de piulițe, care vor consolida structura principală, asigurând o fixare solidă a componentelor. Pentru carcase, se va folosi o tijă filetată de 80 cm, care conferă rigiditate și stabilitate întregii construcții. O plăcuță metalică cu suprafața de 40 cm² va fi montată pentru a servi drept suport pentru fixarea elementelor electrice și mecanice.

La nivelul sistemului de măsurare, un potențiomtru multirotativ reprezintă componenta centrală, responsabilă cu detectarea variațiilor de lungime în mod precis. Acesta va fi integrat cu ajutorul a trei rulmenți, care asigură o legătură robustă și ajustabilă. Bobina, fabricată exact la dimensiunile calculate, completează circuitul electric al senzorului, iar 1,5 metri de fir metalic sunt utilizați pentru transformarea mișcării liniare în mișcare rotativ, la rândul său într-un semnal analogic de tensiune 0-12V.

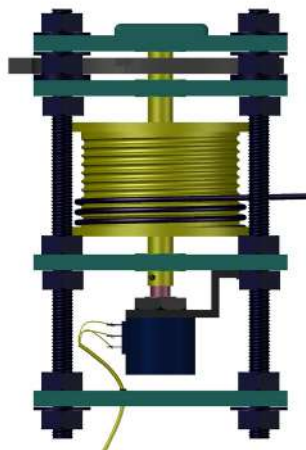


Figura 4. Construcția mecanică finală a senzorului

Senzorul este conceput pentru a funcționa în condiții riguroase, fiind protejat împotriva factorilor externi precum lovituri de ploaie sau alte acțiuni mecanice și climatice intense. Această abordare robustă asigură durabilitatea și precizia instrumentului, făcându-l ideal pentru aplicații variate în mediul industrial.

Concluzie:

Senzorul de lungime cu potențiomtru multirotativ propus în acest studiu oferă o soluție eficientă pentru măsurarea precisă a deplasărilor liniare. Modelarea matematică și simulările realizate au permis optimizarea parametrilor senzorului, stabilindu-se că pentru o lungime de măsurare de 1,5 metri este necesar un potențiomtru cu 10 rotații complete, o bobină cu diametrul de 4,77 cm și o lungime de 3 cm. De asemenea, s-a determinat că alungirea maximă a firului este de 0,017 mm, ceea ce corespunde unei variații de lungime de aproximativ 1,13%. Sistemul utilizat asigură o conversie liniară a lungimii măsurate într-un semnal electric proporțional, cu o tensiune de ieșire între 0 și 12V. Construcția robustă a senzorului, protejată împotriva factorilor externi, îl face potrivit pentru aplicații industriale, unde precizia și fiabilitatea sunt esențiale. Aceste rezultate demonstrează viabilitatea și aplicabilitatea senzorului în domeniul automatizărilor și al măsurătorilor tehnice avansate.

Bibliografie:

Lucrările conferințelor:

1. RĂILEANU, C., TESLARI, F., SAVCIUC, C. et al. „Sistem de măsurare pentru mașina asincronă hexafază”. In: Conferința tehnico-științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor Technical Scientific Conference of Undergraduate, Master and PhD Students, Universitatea Tehnică a Moldovei, 27-29 martie 2024. Chișinău, 2024, vol. 1, pp. 208-213. ISBN 978-9975-64-458-7. ISBN 978 9975-64-459-4 (Vol.1). <http://repository.utm.md/handle/5014/27845>
2. BURDUNIUC M., CAZAC V., MANGOS O. and GRUȘAC L., "Experimental Study of the Single-Phase Asynchronous Motor Without External PhaseShifting Elements for Starting," 2024 IEEE International Conference And Exposition On Electric And Power Engineering (EPEi), 17-19 October 2024 Iasi, Romania, pp. 513-517. DOI: <https://doi.org/10.1109/EPEi63510.2024.10758025>
3. TODOS P., TERTEA G., NUCĂ I., CAZAC V., BURDUNIC M.. Acceptance Testing of the Six-Phase Asynchronous Machines. Published in: 2021 International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN). Date of Conference: 06-08 October 2021. Date Added to IEEE Xplore: 17 November 2021: INSPEC Accession Number: 21438273. Conference Location: Iasi, Romania. ID 125 . DOI: 10.1109/SIELMEN53755.2021.9600412.

Cărți sau capitole:

4. TODD C. D., *The Potentiometer Handbook: Users' Guide to Cost-Effective Applications*. Bourns, Inc., 1989. Associate Editors: W. T. Hardison, W. E. Galvan.

IMPLEMENTAREA INSTALAȚIEI ELECTRICE PENTRU CONTROLUL AUTOMATIZAT ȘI TELECOMANDAT AL TRACTORULUI GOMACO 3600 DE TURNARE A STRUCTURILOR DIN BETON

Florin TESLARI^{1*}, Corneliu RĂILEANU¹, Valentin BÂNZARU¹

¹Inginerie Electrică, IE-24M, FEIE, UTM, mun. Chișinău, R. Moldova

*Autorul corespondent: Florin Teslari, florin.teslari@ie.utm.md

Îndrumătorul/coordonatorul științific **Vadim CAZAC**, dr. conf., FEIE, UTM

Rezumat. Această lucrare prezintă implementarea și modernizarea sistemului electric al tractorului Gomaco 3600, utilizat pentru turnarea structurilor din beton destinate infrastructurii rutiere. Obiectivul principal a constat în reconstrucția instalației electrice pentru integrarea unui sistem de automatizare parțială, permițând atât controlul automatizat, cât și manual la distanță. În cadrul lucrării au fost integrați opt senzori: trei pentru monitorizarea înălțimii roților, trei pentru determinarea unghiurilor de lucru și doi pentru menținerea nivelului general al turnării, utilizând un sistem de referință fix bazat pe cabluri întinse longitudinal.

Metodologia aplicată a inclus realizarea conversiei tensiunii de la 12V la 220V și ulterior la 24V, în scopul asigurării unei alimentări electrice stabile a PLC-ului și a releelor de comutare. Distribuitorii hidraulici au fost conectați electric prin relee comandate la 24V de către PLC, menținând alimentarea actuatorilor la 12V. Conectarea interfeței HMI la PLC s-a efectuat printr-o rețea Ethernet dedicată, în timp ce comenzile locale pentru reglajele sus-jos și stânga-dreapta au fost cablate direct. Totodată, a fost înlocuită unitatea centrală de control.

Rezultatele obținute demonstrează o îmbunătățire semnificativă a fiabilității instalației electrice, a preciziei operațiunilor de turnare și a flexibilității operaționale în condiții de șantier variabile. Lucrarea confirmă eficiența soluțiilor propuse pentru adaptarea echipamentelor existente la cerințele moderne de automatizare și control.

Cuvinte cheie: plc industrial, sisteme de comandă, interfață hmi, control distribuitor, acționări electrice.

Introducere

Digitalizarea și automatizarea proceselor din industria construcțiilor nu mai reprezintă un avantaj competitiv, ci o condiție de bază pentru eficiență și siguranță [1]. Pe fondul creșterii exigențelor privind productivitatea, precizia execuției și reducerea pierderilor, s-a conturat necesitatea transformării utilajelor clasice în sisteme inteligente, capabile să interacționeze cu operatorii în mod eficient și predictibil.

Tractorul Gomaco 3600 din Fig.1, Fig.2, deși un utilaj consacrat în turnarea structurilor din beton, se bazează pe un sistem original de control integral manual. Comenzile sunt realizate prin comutatoare directe către distribuitorii hidraulici, fără niciun tip de feedback din partea utilajului sau a mediului de lucru. În absența unui sistem automatizat, operatorul trebuie să efectueze toate reglajele din mers, ceea ce nu doar că încetinește procesul, dar introduce și erori umane semnificative.

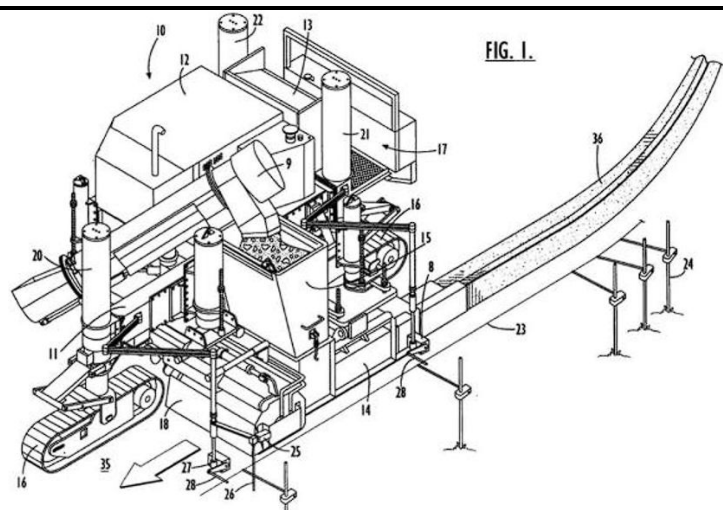


Figura 1. Tractor Gomaco 3600

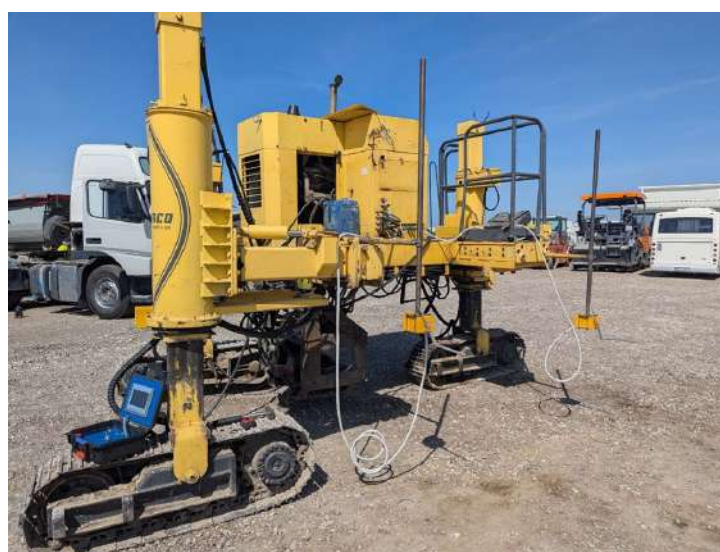


Figura 2. Tractor Gomaco 3600

Modernizarea instalației electrice urmărește extinderea funcționalităților existente și integrarea unui sistem de control care permite acționarea distribuitorilor hidraulice prin interfață logică, conectarea senzorilor pentru a obține informații în timp real și trecerea de la intervenții reactive la operare proactivă. Utilajul trebuie să devină capabil să se autoajusteze parțial în funcție de topografia terenului sau de geometria lucrării.

În acest sens, scopul lucrării a fost de a proiecta și implementa un sistem de control hibrid, compus dintr-un PLC industrial, o interfață HMI tactilă, un sistem de relee de acționare și o rețea de senzori analogici.

Arhitectura generală a instalației electrice

Arhitectura electrică propusă din Fig. 3 este modulară, astfel încât fiecare funcție a sistemului să poată fi gestionată, izolată și extinsă independent. Componenta centrală este un PLC Siemens S7-1200 [5], echipat cu module de extensie pentru intrări analogice și digitale, și ieșiri digitale cu tranzistor, pentru controlul releelor [2]. Alegerea acestui PLC s-a bazat pe criterii de fiabilitate industrială, suport software avansat (TIA Portal), compatibilitate cu interfețe standard (Ethernet, Modbus) și disponibilitate de piese de schimb.

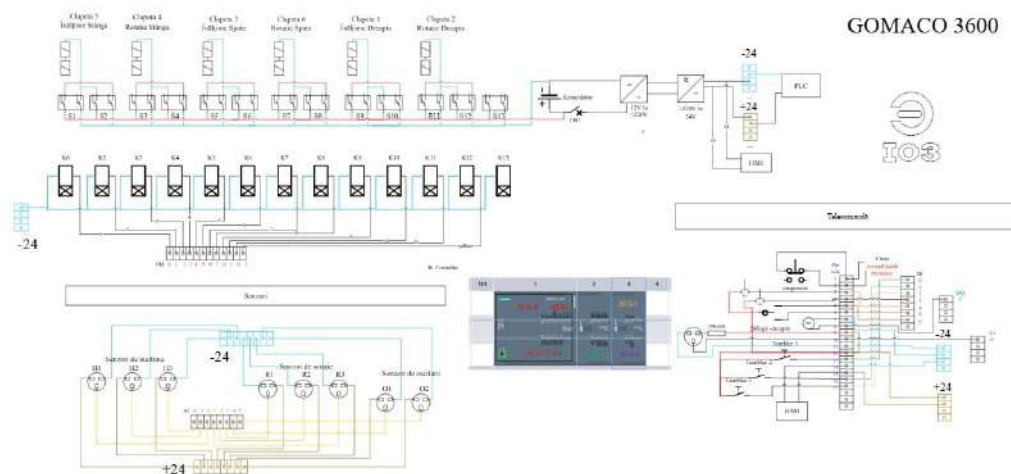


Figura 3. Arhitectura electrică

Alimentarea întregului sistem din Fig. 4 a fost reproiectată pornind de la sursa unică de 12V DC a utilajului. Într-o primă etapă, această tensiune este transformată în 220V AC printr-un invertor cu undă sinusoidală pură, iar apoi este convertită în 24V DC stabilizat, printr-o sursă de alimentare industrială Mean Well, cu protecție la supratensiune, scurtcircuit și fluctuații termice. Acest lanț de conversie garantează alimentarea sigură și constantă a componentelor sensibile, reducând riscul de defectare a PLC-ului sau a interfeței HMI.

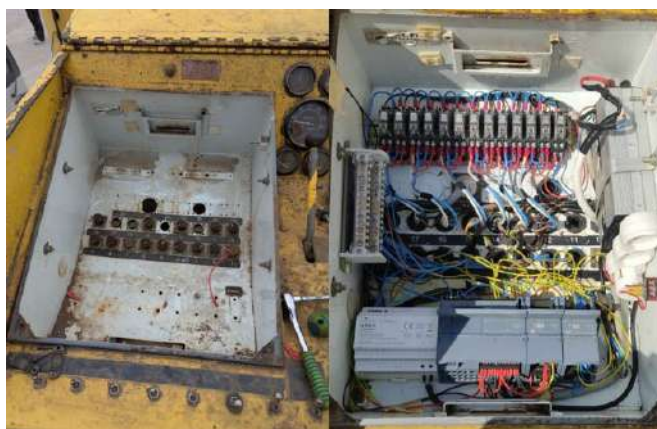


Figura 4. Sistemul electric

Distribuitorii hidraulici sunt comandați electric, printr-un sistem de 13 relee intermediare, fiecare controlat printr-o ieșire digitală a PLC-ului. Releele sunt alimentate la 24V și comută alimentarea de 12V către bobinele distribuitorilor. Această separare între tensiunea de comandă și cea de acționare asigură protecția componentelor logice, precum și o funcționare independentă a fiecărui actuator.

Pentru controlul manual, a fost instalată o telecomandă fizică de tip modular, conectată direct printr-un cablu multifilar la intrările digitale ale PLC-ului. Comenzile includ funcții de ridicare, coborâre, rotire stânga/dreapta și resetare, fiecare fiind prioritarizată logic în programul controlerului. Această redundanță permite intervenții rapide fără a fi necesară navigarea prin meniurile HMI, ceea ce este esențial în medii de lucru dinamice.

Interfața HMI, de tip tactil, permite operatorului să monitorizeze starea sistemului în timp real, să selecteze modurile de lucru, să inițieze acțiuni predefinite și să observe semnalizările de eroare. Datele sunt transmise prin rețea Ethernet industrială, iar afișajul este organizat în pagini tematice: status general, diagnostic, manual override și setări avansate.

Un element de noutate al arhitecturii este integrarea a 8 senzori analogici:

- 3 senzori potențiometrici pentru înălțimea roților;
- 3 senzori de poziție unghiulară pentru orșini;
- 2 senzori de nivel longitudinal (oscilație), bazați pe sfoară tensionată ca referință fizică.

Acești senzori transmit semnal 0–10V către intrările analogice ale PLC-ului, semnal care este afișat pe HMI și este pregătit pentru integrare în bucle de reglare automată în etapele viitoare [3, 4].

Panoul de comandă din Fig. 5 a fost realizat cu echipamente industriale, într-o cutie cu protecție IP65 [6]. Etichetarea a fost realizată conform codului de culoare, iar fiecare fir este numerotat pentru întreținere facilă.



Figura 5. Panoul de comandă

Evaluarea funcțională a sistemului implementat

Evaluarea performanțelor sistemului electric modernizat s-a realizat în mai multe etape: testare funcțională pe banc, validare în regim static, apoi verificare completă în regim dinamic pe teren. Fiecare componentă a fost testată individual, urmărindu-se precizia de acționare, timpul de răspuns, stabilitatea în regim prelungit și comportamentul în condiții de sarcină variabilă.

Sistemul de alimentare a funcționat stabil în toată gama de variație a tensiunii de intrare (10.5V–13.8V). Sursa de 24V a menținut fluctuații sub $\pm 0,3V$, fapt esențial pentru protejarea modulelor PLC și a interfeței HMI. În urma simulărilor de suprasarcină, invertorul și sursa s-au oprit în mod de protecție, confirmând funcționarea corectă a sistemului de autolimitare.

Releele de comandă au avut un timp de comutare mediu de 70–90 ms, cu activare rapidă și sincronă. Nu s-au înregistrat fenomene de autoexcitație sau bucle false, datorită cablajului ecranat și dispunerii logice a firelor în canalul tehnologic. Distribuitorii hidraulici au răspuns prompt la semnalele de 12V comutate de relee, iar consumul total a fost monitorizat sub 1.8 A per bobină activă.

Butoniera de control manual a oferit redundanță operațională. Comenzile de urgență au fost testate cu succes în timpul execuției automate – sistemul a fost capabil să comute din regim automat în regim manual fără oprirea generală a echipamentului. Această funcție este critică în scenariile de avarie sau calibrare.

Interfața HMI s-a dovedit esențială în operarea sistemului: operatorul poate vizualiza valorile senzorilor, activa relee individuale în modul manual, observa defecțiuni sau variații anormale ale tensiunii. Navigarea între pagini este rapidă, iar timpii de refresh sunt sub 250 ms.

Integrarea senzorilor analogici a fost validată parțial – deși valorile sunt afișate corect și se pot monitoriza în timp real, buclele de reglare automată încă nu au fost activate în această etapă. Totuși, prin calibrare manuală, s-a constatat că semnalul de la senzorii de înălțime are o abatere sub 3 mm față de valorile măsurate mecanic, ceea ce dovedește fiabilitatea conexiunilor electrice și a poziționării mecanice.

Testele în teren, desfășurate în regim de lucru real, au demonstrat că sistemul permite adaptarea tractorului la variații de nivel și topografie fără oprirea procesului de turnare. Operatorul a putut modifica unghiul orșinilor și înălțimea de lucru fără a se expune pericolului, folosind doar comenzile din HMI sau din telecomandă. S-a observat o creștere a uniformității în turnare și reducerea timpului de oprire pentru reglaje.

Concluzii

Modernizarea instalației electrice a tractorului Gomaco 3600 a condus la o transformare funcțională esențială a utilajului, fără a afecta structura sa mecanică de bază. Prin înlocuirea sistemului de comandă manual cu un sistem controlat de PLC și monitorizat prin HMI, utilajul a devenit capabil să opereze în regim automatizat, cu posibilitatea intervenției manuale rapide și eficiente.

Această arhitectură modulară permite integrarea ulterioară a funcțiilor avansate precum:

- reglare automată a înălțimii de turnare în funcție de teren;
- corecție automată a unghiului roților în funcție de deviere;
- activare automată a distribuitorilor în funcție de traiectorie;
- conectivitate la distanță pentru diagnostic și mentenanță.

În plus, soluția propusă este scalabilă și replicabilă. Ea poate fi aplicată pe alte modele de utilaje Gomaco, dar și pe echipamente similare din domeniul construcțiilor, agriculturii sau întreținerii infrastructurii. Costurile de modernizare sunt net inferioare achiziției unui echipament nou, iar eficiența și siguranța cresc considerabil.

Prin această lucrare s-a demonstrat că automatizarea echipamentelor existente este nu doar posibilă, ci necesară pentru a aduce utilajele tradiționale la nivelul cerințelor tehnice actuale. Integrarea electrică, corect proiectată și implementată, devine fundamentul oricărei transformări digitale industriale sustenabile.

Bibliografie:

Articole în reviste:

1. NEDEALCOV, M.; URSU, A. Automatizarea proceselor industriale utilizând controlere programabile. *Buletinul Institutului Politehnic din Chișinău* 2023, Vol. 3(45), pp. 112–118.

Cărți și capitole:

2. PETRESCU, G.; DOBRESCU, I. *Automatizări industriale*, 3rd ed.; Editura Didactică și Pedagogică: București, România, 2020; pp. 25–248.
3. CAZAC, V.; BĂLȚATU, L. Senzori analogici în automatizări. In *Ghidul practic de inginerie electrică*, 2nd ed.; COJOCARU, A.; POPESCU, R., Eds.; Editura UTM Press: Chișinău, Moldova, 2021; Vol. 2, pp. 68–105.
4. INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. *IEC 60204-1: Safety of machinery – Electrical equipment of machines*, 6th ed.; IEC: Geneva, Elveția, 2018.
5. *Site-uri web:*
6. MOODLE – Facultatea de Energetică și Inginerie Electrică. Disponibil online: <https://moodle.utm.md> (accesat la 27 mai 2025).
7. SIEMENS AG. SIMATIC S7-1200 Programmable Logic Controller System Manual. Disponibil online: <https://support.industry.siemens.com> (accesat la 27 mai 2025).

PROMOVAREA MĂSURILOR DE EFICIENȚĂ ENERGETICĂ ÎN SECTORUL REZIDENȚIAL DIN REPUBLICA MOLDOVA

Gabriel JOSANU

*Departamentul Energetică, grupa IME-211, Facultatea Energetică și Inginerie Electrică,
Universitatea Tehnică din Moldova, Chișinău, Republica Moldova*

Autorul corespondent: Gabriel JOSANU gabriel.josanu@en.utm.md

Îndrumătorul/coordonatorul științific **Dumitru BRAGA**, Lect. univ., dr. FEIE,UTM

Rezumat. Implementarea măsurilor de eficiență energetică în sectorul rezidențial al Republicii Moldova reprezintă o prioritate strategică, în contextul moștenirii clădirilor construite în perioada sovietică, caracterizate prin performanțe termice slabe și costuri ridicate ale utilităților. Modernizarea acestor construcții este esențială pentru reducerea pierderilor de energie, optimizarea consumului și reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră. Prin intervenții precum îmbunătățirea izolației termice, înlocuirea tâmplăriei convenționale cu ferestre termopan și implementarea sistemelor de încălzire moderne, se pot obține economii semnificative. Programele de finanțare „Fondul pentru Eficiență Energetică în sectorul Rezidențial din Moldova” și „E4M” reprezintă pilonii tranziției energetice, oferind subvenții și facilități financiare pentru proprietarii de locuințe. Soluțiile propuse includ digitalizarea proceselor administrative, achiziții grupate și parteneriate interinstituționale, menite să reducă costurile și să asigure implementarea eficienței a proiectelor. Însă, provocările persistă, fiind necesară mobilizarea autorităților, investitorilor și comunității pentru a depăși bariere birocratice și financiare. Această abordare integrată va conduce la creșterea confortului locativ, stabilitatea economică și protecția mediului. Modernizarea sistemelor de ventilație și a instalațiilor tehnice, prin tehnologii inteligente și fonduri verzi, va spori eficiența energetică și va stimula creșterea economică semnificativ. Această strategie cuprinzătoare, ce combină renovări tehnice și reforme administrative, promite nu doar reducerea cheltuielilor cu energia, ci și stimularea investițiilor locale și creșterea durabilității urbane în mod sustenabil. În această lucrare sunt analizate și ierarhizate alternativele de diminuare a consumului de resurse energetice și emisii de gaze cu efect de seră în sectorul rezidențial din Republica Moldova.

Cuvinte cheie: eficiență energetică, emisii de gaze cu efect de seră, consum, clădiri

Introducere

În contextul actual al schimbărilor climatice și al amplificării costurilor cu energia, eficiența energetică a clădirilor rezidențiale devine un vector strategic pentru Republica Moldova. Fondul locativ, construit majoritar în perioada sovietică, este caracterizat prin anvelope termice deficitare, ferestre cu un singur geam și sisteme de încălzire depășite, care generează pierderi de căldură de până la 50 % și facturi energetice semnificativ peste media europeană. Reabilitarea termică și modernizarea instalațiilor nu reprezintă doar un imperativ economic, ci și o obligație ecologică pentru reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră. În acest cadru, programele naționale FEERM (Fondul pentru Eficiență Energetică în Sectorul Rezidențial) și E4M (Eficiență Energetică și Energii Regenerabile în Moldova) oferă mecanisme financiare atractive care acoperă până la 70 % din costurile de investiție, mobilizând peste 1,4 miliarde MDL în intervalul 2024–2027.

Intervenții tehnice pentru eficiența energetică a anvelopei și sistemelor HVAC

Intervențiile tehnice se concentrează în principal pe optimizarea anvelopei termice și pe modernizarea sistemelor de generare și distribuție a căldurii:

- Izolația pereților exteriori și a planșeelor superioare cu vată minerală bazaltică sau polistiren de înaltă densitate, vizând scăderea coeficientului de transfer termic (U) sub $0,25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.
- Înlocuirea tâmplăriei tradiționale cu ferestre termoizolante tripan și rame cu rupere de punte termică, reducând pierderile prin suprafețele vitrate cu până la 60 %.
- Instalarea de pompe de căldură aer-apă cu randament sezonier (SCOP) de 300–400 %, înlocuind cazanele pe combustibili fosili cu eficiență sub 90 %.
- Implementarea sistemelor de ventilație mecanică cu recuperare de căldură, care mențin calitatea aerului interior și pot recupera până la 85 % din energia termică evacuată.

Aceste măsuri pot reduce consumul de energie pentru încălzire cu 40–60 % și, implicit, emisii de CO_2 cu peste 30 %. În paralel, digitalizarea proceselor de aplicare pentru finanțare (portal unic „one-stop shop”), asistență tehnică dedicată și achiziții grupate de materiale și servicii contribuie la simplificarea implementării și la optimizarea costurilor de proiect.

Tabel 1.

Principalele măsuri și efectele estimate

Măsură tehnică	Scădere consum (%/an)	Scădere CO_2 (t/an) per bloc
Izolație pereți și planșee	25–35 %	45–60
Ferestre tripan și rame termoizolante	15–20 %	30–40
Pompe de căldură (aer-apă)	20–30 %	50–70
Ventilație mecanică cu recuperare de căldură	5–10 %	10–20

Tehnici integrate de optimizare a consumului și impactul lor economic și ecologic

În afara intervențiilor asupra anvelopei termice, optimizarea consumului energetic se poate obține prin implementarea unor soluții tehnice complementare: distribuția orizontală a agentului termic, cu puncte termice individuale pe scară, permite reglarea fină a temperaturii la nivel de apartament și elimină pierderile pe traseul vertical. Instalarea de supape termostactice cu senzori electronici pe calorifere oferă posibilitatea unui control adaptiv al fluxului de căldură în funcție de prezența și preferințele locatarilor, generând economii de până la 20 % din consumul de încălzire. Sistemele inteligente de management al energiei (Building Management Systems) monitorizează constant parametrii de funcționare și permit automatizarea scenariilor de ventilație și încălzire, reducând consumurile nejustificate și prelungind durata de viață a echipamentelor. Integrarea soluțiilor de stocare termică (acumulatoare de căldură în subsoluri) și a ventilației cu recuperare de căldură cu randament real de 70–85 % completează strategia de eficientizare, menținând un confort termic optim.

Din punct de vedere economic, aceste tehnologii reduc semnificativ facturile gospodăriilor, scad nevoia de energie importată și ameliorează stabilitatea bugetară la nivel național. Investițiile în automatizare și debitmetrie inteligentă au un timp de recuperare de sub 10 ani, iar economia anuală de costuri de operare poate atinge 30–40 %. Din perspectivă ecologică, optimizarea consumului contribuie la diminuarea emisiilor de CO_2 cu peste 25 % per clădire, reduce poluarea locală ($\text{PM}_{2.5}$, NO_x) și încurajează tranziția spre un model urban sustenabil, cu un impact pozitiv asupra calității aerului și sănătății publice.

Concluzii

Promovarea eficienței energetice în sectorul rezidențial din Republica Moldova reprezintă un imperativ tehnico-economic și ecologic. Modernizarea anvelopei termice, înlocuirea tâmplăriei și adoptarea de sisteme HVAC avansate pot reduce consumul de energie cu 40–60 %

și emisiile de CO₂ cu peste 30 % per imobil. Programele FEERM și E4M, împreună cu instrumentele financiare UE, oferă cadrul de susținere necesar pentru implementarea la scară largă. Pentru succesul strategiei, este esențială armonizarea reglementărilor, simplificarea procedurilor administrative și consolidarea capacității asociațiilor de proprietari. Coordonarea între autoritățile centrale, administrațiile locale, sectorul privat și societatea civilă va asigura nu doar reducerea facturilor la energie și protecția mediului, ci și stimularea creșterii economice și îmbunătățirea confortului locativ.

Mulțumiri. Adresez cele mai sincere mulțumiri domnului dr. Braga Dumitru, decan al Facultății Energetică și Inginerie Electrică, pentru îndrumarea atentă și sprijinul necondiționat acordat pe parcursul elaborării acestui articol.

Bibliografie

Site-uri web:

1. Biroul Național de Statistică al Republicii Moldova. (2024). Situația fondului locativ la 1 ianuarie 2024. Chișinău, Moldova. Disponibil: https://statistica.gov.md/ro/fondul-locativ-la-1-ianuarie-2024-9448_61355.html
2. Ministerul Energiei al Republicii Moldova. (2024). Raport privind eficiența energetică a clădirilor din Republica Moldova. Chișinău, Moldova.
3. Centrul Național pentru Energie Durabilă (CNED). (2024). Programul FEERM – Fondul pentru Eficiență Energetică în Sectorul Rezidențial (2024–2027). Chișinău, Moldova. Disponibil: <https://cned.gov.md/ro/feerm>
4. GIZ Moldova. (2024). Proiectul E4M – Eficiență Energetică și Surse Regenerabile în Republica Moldova. Chișinău, Moldova.
5. Comisia Europeană. (2010). Directiva 2010/31/UE privind performanța energetică a clădirilor. Bruxelles, Belgia. Disponibil: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/?uri=CELEX:32010L0031>
6. Comisia Europeană. (2012). Directiva 2012/27/UE privind eficiența energetică. Bruxelles, Belgia. Disponibil: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/?uri=CELEX:32012L0027>
7. Passivhaus Institut. (2021). Passive House Requirements. Darmstadt, Germania. Disponibil: https://passiv.de/en/02_informations/02_passive-house-requirements/02_passive-house-requirements.htm

AUTOMATIZAREA FUNCȚIONĂRII UTILAJULUI DE TURNARE CONTINUĂ GOMACO GT3600

Valentin BÂNZARU^{1*}, Corneliu RĂILEANU, Florin TESLARI³

¹Inginerie electrică, IE-24M, Energetică și inginerie electrică,
Universitatea tehnică a Moldovei, Chișinău, Moldova

*Autorul corespondent: Valentin Bânzaru, valentin.banzaru@ie.utm.md

Îndrumătorul/coordonatorul științific Vasile Rachier, Dr. conf. univ.

Rezumat. *Lucrarea prezintă implementarea unui sistem de automatizare pentru utilajul de turnare continuă Gomaco GT3600, utilizând un controler programabil Siemens S7-1200 și mediu de dezvoltare TIA Portal. Scopul principal constă în elaborarea unei logici de control capabile să gestioneze, prin tehnici de control în buclă închisă, funcționarea distribuitorilor electro-hidraulice în funcție de semnalele primite de la senzori de poziție și înclinare. Interfața om-mașină (HMI) realizată pe un panou KTP700 permite operarea utilajului în trei moduri distincte: modul manual (control individual al picioarelor), modul sincronizat (controlul picioarelor frontale pe baza comparării valorilor senzorilor de unghi cu unghiul de referință), și modul de înclinare (menținerea poziției utilajului pe baza feedback-ului de la doi senzori de înclinare). Algoritmul propus permite sincronizarea precisă a mișcărilor și adaptarea în timp real la variațiile terenului. Noutatea constă în integrarea unei logici de control adaptabilă multi-mod, cu reacție rapidă, care asigură stabilitatea și performanța sistemului în condiții industriale variate.*

Cuvinte cheie: *plc, buclă-închisă, electro-hidraulic, hmi, senzori.*

Introducere

Utilajele de turnare continuă, precum Gomaco GT3600, sunt esențiale în realizarea elementelor din beton pentru infrastructura rutieră. Deși robuste, versiunile mai vechi, fabricate în anii '90, dispun de sisteme de control depășite, greu de întreținut și incompatibile cu cerințele actuale de precizie și adaptabilitate. Modelul analizat prezenta astfel de limitări, motiv pentru care s-a impus modernizarea sa printr-un sistem automatizat bazat pe PLC, interfață HMI și senzori analogici. Lucrarea prezintă acest proces de automatizare, concentrându-se pe logica de control, integrarea echipamentelor și modurile inteligente de funcționare, oferind un model aplicabil și altor utilaje industriale învechite.

Obiectivul lucrării

Obiectivul principal al lucrării constă în modernizarea sistemului de comandă al utilajului de turnare continuă Gomaco GT3600, versiunea fabricată în anul 1998, prin implementarea unei arhitecturi de control automatizat, bazată pe echipamente moderne de tip industrial. Această modernizare vizează atât îmbunătățirea preciziei de lucru, cât și creșterea fiabilității în exploatare și adaptabilitatea la diferite condiții de teren.

Pentru atingerea acestui scop, s-au stabilit următoarele obiective tehnice specifice:

- Înlocuirea sistemului original de control cu un sistem bazat pe PLC Siemens S7-1200 și o interfață HMI, pentru a asigura o interacțiune ușoară între operator și utilaj;
- Implementarea unei logici de control în buclă închisă, capabilă să reacționeze în timp real la variațiile măsurate de senzori;

- Integrarea unui set complex de senzori analogici, pentru monitorizarea poziției picioarelor, înclinării și înălțimii utilajului, în vederea reglării automate a poziției acestuia;
- Configurarea unor moduri multiple de operare (manual, sincronizat, înclinare automată), accesibile din interfața HMI, în funcție de specificul lucrărilor executate;
- Asigurarea unei logici de auto-calibrare și memorare a pozițiilor de referință, esențială pentru menținerea stabilității în regim de lucru prelungit.

În contextul industrial actual, unde eficiența operațională și reducerea intervențiilor manuale sunt priorități majore, transformarea unui utilaj mecanic clasic într-un sistem semi-inteligent, capabil să reacționeze la condițiile din teren, reprezintă un pas semnificativ spre automatizarea construcțiilor civile. Lucrarea urmărește, de asemenea, să ofere un model reaplicabil pentru alte echipamente de șantier vechi, care pot fi revitalizate prin tehnologii moderne de automatizare.

Arhitectura sistemului

Arhitectura sistemului automatizat implementat pe Gomaco GT3600 are la bază un controler logic programabil Siemens S7-1200 (1214 DC/DC/RLY), care coordonează toate funcțiile de achiziție și execuție. PLC-ul procesează în timp real semnalele provenite de la senzorii instalați pe utilaj și controlează distribuitorii electrohidraulici pentru reglarea automată a poziției fiecărui picior. Interfața cu operatorul este asigurată de un panou HMI tactil, prin care se pot selecta modurile de lucru, vizualiza parametrii senzorilor și lansa procedura de calibrare.

Sistemul include o rețea de senzori analogici alimentați la 24V, cu ieșire 0–10V: senzori de înălțime pentru fiecare picior, senzori de unghi pentru detectarea abaterilor laterale și senzori de înclinare – atât potențiometrici, cât și un giroscop solid-state – pentru evaluarea poziției generale a utilajului pe teren. Distribuitorii hidraulici originali au fost păstrați, dar sunt acum comandate electric, în funcție de deviațiile măsurate. În completare, o telecomandă conectată prin cablu multifilar permite controlul manual al funcțiilor esențiale, oferind operatorului flexibilitate în utilizare.

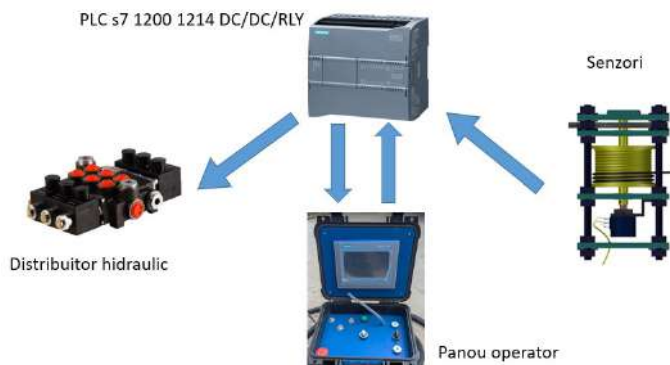


Figura 1. Schema arhitecturii simplificată

În ansamblu, această arhitectură a fost gândită pentru a oferi flexibilitate maximă, precizie în control și o interfață prietenoasă pentru operator. Toate componentele lucrează într-o manieră integrată, formând un sistem coerent și robust, capabil să răspundă rapid la condițiile variabile de lucru. Designul modular permite extinderi ulterioare, cum ar fi introducerea de funcții de teledetecție, integrarea cu sisteme GPS sau conectarea la rețele industriale de comunicare.

Moduri de operare

Sistemul de comandă al utilajului Gomaco GT3600 a fost conceput pentru a funcționa în trei moduri distincte de operare, fiecare adaptat unui anumit context tehnologic sau tip de

lucrare. Selectarea modului dorit se face din interfața HMI, care permite operatorului să configureze rapid și intuitiv comportamentul utilajului în funcție de necesități.

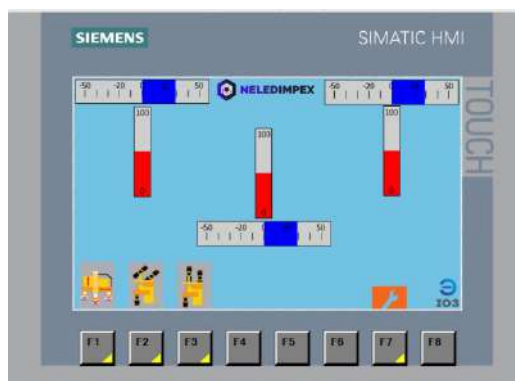


Figura 2. Interfața HMI

Primul mod de funcționare, denumit mod manual, oferă control total operatorului asupra fiecărui picior hidraulic în parte. Prin intermediul unor butoane fizice sau al interfeței grafice, operatorul poate comanda individual mișcarea în sus sau în jos a picioarelor, ceea ce este util în fazele de poziționare inițială sau în cazul intervențiilor punctuale. Acest mod nu implică nicio analiză a datelor provenite de la senzori, acționările fiind directe și necondiționate.

Al doilea mod, cunoscut ca mod sincronizat, implică acționarea simultană a tuturor picioarelor, în funcție de o valoare impusă de un potențiometrul de comandă. În acest caz, operatorul nu mai controlează fiecare picior separat, ci definește o valoare de referință generală, iar sistemul ajustează pozițiile pentru a asigura o mișcare uniformă. Acest mod este potrivit pentru adaptarea rapidă a înălțimii utilajului în timpul deplasării sau în zone cu relief relativ constant.

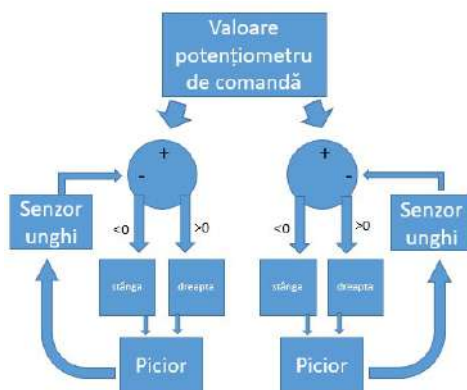


Figura 3. Schemă logică de funcționare a modului sincronizat

Cel mai avansat mod de funcționare este cel denumit mod înclinare, care presupune o operare complet automată pe baza valorilor colectate de la senzorii de înclinare, înălțime și giroscop. La activarea acestui mod, sistemul efectuează o calibrare inițială în care pozițiile de referință ale utilajului sunt memorate. Ulterior, în timpul lucrului, orice deviație față de aceste valori este detectată în timp real, iar PLC-ul comandă corecțiile necesare prin acționarea distribuitorilor hidraulici. Astfel, utilajul își menține în permanență echilibrul și poziția prestabilită, indiferent de variațiile de teren sau de încărcare.

Modul Înclinare

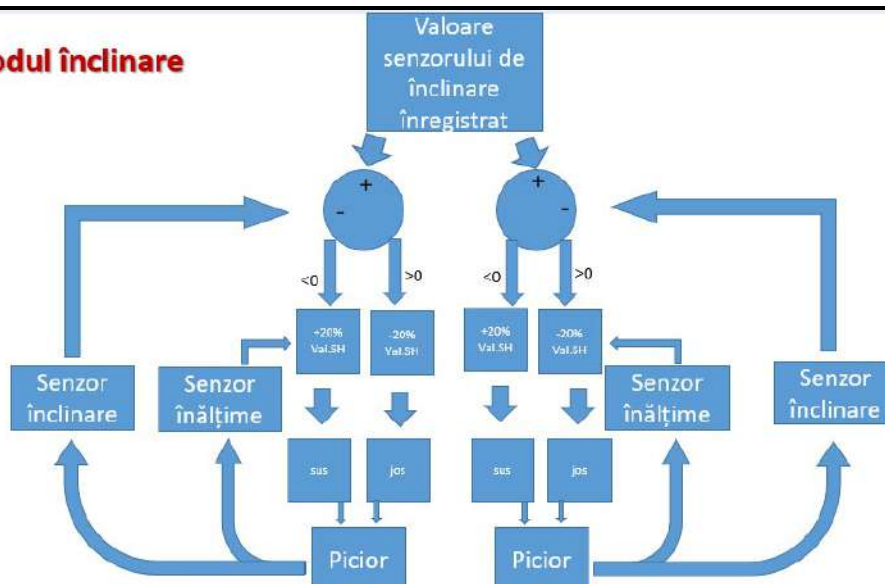


Figura 4. Schemă logică de funcționare a modului înclinare

Prin aceste moduri de lucru, sistemul automatizat asigură o flexibilitate operațională sporită. Operatorul poate comuta ușor între moduri, în funcție de condițiile reale de pe șantier, fără a fi necesară reprogramarea sistemului sau recalibrarea întregii instalații. În același timp, controlul în buclă închisă și integrarea senzorilor permit o funcționare sigură și eficientă, reducând semnificativ erorile umane și creșterea timpului de execuție..

Calibrarea

Funcționarea precisă a unui sistem automatizat depinde în mod fundamental de o etapă inițială de calibrare corect efectuată. În cazul utilajului Gomaco GT3600, calibrarea este o procedură esențială, întrucât aceasta stabilește valorile de referință ale poziției și înclinării utilajului, care vor fi utilizate ulterior în comparațiile dinamice din timpul funcționării. Această etapă se realizează simplu, prin intermediul interfeței HMI, și presupune aducerea utilajului într-o poziție dorită, considerată optimă, urmată de salvarea valorilor instantanee ale tuturor senzorilor implicați în proces.

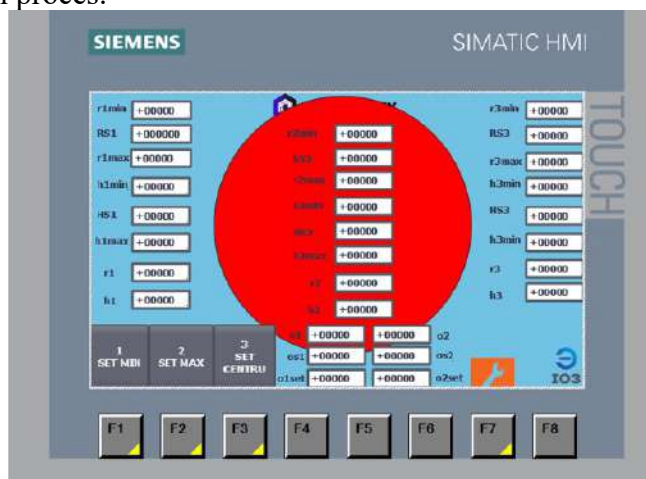


Figura 5. Interfața de calibrare

După finalizarea calibrării, sistemul trece în regim de funcționare în buclă închisă. Controlerul PLC monitorizează continuu semnalele de la senzorii de înclinare, înălțime și unghi, comparându-le cu valorile de referință memorate. La identificarea unei abateri, sistemul emite

comenzi către distribuitorii hidraulici pentru corectarea poziției fiecărui picior, menținând stabilitatea utilajului.

Algoritmul este optimizat pentru reacții rapide, dar stabile, evitând oscilațiile sau corecțiile inutile cauzate de șocuri temporare. Reglajele sunt aplicate individual fiecărui punct de sprijin, pentru a păstra geometria generală a utilajului. Astfel, sistemul reușește să mențină poziția optimă în timp real, fără intervenție manuală, asigurând calitate constantă și reducând riscul de erori în timpul lucrului pe teren variabil.

Rezultate și aplicații

Implementarea sistemului automatizat pe Gomaco GT3600 a condus la îmbunătățiri semnificative în funcționare. Utilajul s-a dovedit capabil să se adapteze automat la variațiile terenului, menținând o stabilitate crescută în timpul turnării. Această performanță este rezultatul interacțiunii dintre senzorii de poziție și algoritmi de control în buclă închisă, care reacționează prompt și precis la abateri.

Pe lângă stabilitate, fiabilitatea sistemului general a fost mult îmbunătățită. Componentele vechi au fost înlocuite cu echipamente moderne, iar interfața HMI facilitează atât diagnosticarea rapidă, cât și operarea intuitivă. Personalul necesită o pregătire minimă, iar modurile de lucru clar definite fac sistemul ușor de adaptat la diverse condiții de șantier.

Datorită acestor îmbunătățiri, utilajul poate fi utilizat cu succes într-o varietate de aplicații și condiții dificile. Soluția propusă oferă un model aplicabil altor echipamente industriale, demonstrând potențialul automatizării în prelungirea duratei de viață și în creșterea performanței utilajelor existente.

Concluzii

Modernizarea Gomaco GT3600 prin integrarea unui PLC, a unei interfețe HMI și a unei logici de control automate a transformat utilajul într-un sistem inteligent și adaptabil. Reglajele automate, bazate pe datele oferite de senzori, asigură o funcționare stabilă și precisă, indiferent de condițiile terenului.

Soluția a crescut fiabilitatea și eficiența utilajului, reducând nevoia de intervenție manuală. Interfața intuitivă și cele trei moduri de operare permit adaptarea rapidă la scenarii variate, chiar și de către operatori fără experiență avansată. Proiectul demonstrează că echipamentele industriale învechite pot fi revitalizate eficient, cu costuri reduse, oferind un model scalabil pentru alte aplicații din construcții și industrie.

Bibliografie:

1. RACHIER, V., MANGOS, O., SOBOR, I., CHICIUC, A., „Potențialul Energetic Eolian al Republicii Moldova”, Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea Energetică și Inginerie Electrică, Departamentul Inginerie Electrică. – Chișinău: S.n., 2023 (Bons Offices). – 275 p. ISBN 978-5-36241-124-4. Disponibil: <http://repository.utm.md/handle/5014/27772>
2. SOBOR, I., MANGOS, O., TĂRĂȚĂ, S.. The Present State of the e-RES Sector in Moldova Republic. In: Sielmen Proceedings of the 13th international conference on electromechanical and power systems. Ediția 13, 9-11 octombrie 2019, Craiova. New Jersey, SUA: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019, p. 0. ISBN 978-172814011-7. DOI: <https://doi.org/10.1109/SIELMEN.2019.8905902>
3. TODOS P., NUCA I., TERTEA G., CAZAC V., "Identification of Parameters and Power Losses of Six-Phase Asynchronous Machines by Induction Regenerative Method," 2023 10th International Conference on Modern Power Systems (MPS), Cluj-Napoca, Romania, 2023, pp. 1-6, DOI: <https://doi.org/10.1109/MPS58874.2023.10187447>
4. BURDUNIUC M., CAZAC V., MANGOS O. and GRUȘAC L., "Experimental Study of the Single-Phase Asynchronous Motor Without External PhaseShifting Elements for Starting," 2024 IEEE International Conference And Exposition On Electric And Power

Engineering (EPEi), 17-19 October 2024 Iasi, Romania, pp. 513-517. DOI:
<https://doi.org/10.1109/EPEi63510.2024.10758025>

5. BÂNZARU V., RĂILEANU C., et al. „Modelarea motorului asincron monofazat cu înfășurare statorică asimetrică” In: Simpozionul Științific Studențesc Internațional ELSTUDIS 2024, a III-a ediție, Vol.3, pag.242-247, Iași, 17-19 octombrie 2024. ISSN 3061-4348 ISSN-L 3061-4384

REDUCEREA PIERDERILOR EXERGETICE ÎN DEPOZITELE DE PRODUSE PETROLIERE PRIN AUTOMATIZAREA PROCESELOR TEHNOLOGICE ȘI APLICAREA CERINTELOR HG 587/2020 PRIVIND CONTROLUL EMISIILOR DE VAPORI DIN BENZINĂ

Marcel MORARU

*Departamentul Energetică, grupa EM-24M, Facultatea Energetică și Energie Electrică,
Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova*

Marcel MORARU, marcel.moraru@en.utm.md

Îndrumătorul/coordonatorul științific **Cristina EFREMOV**, doctor, conf. univ.

Rezumat. *Lucrarea analizează impactul tehnologiilor moderne de automatizare asupra reducerii pierderilor exergetice în manipularea carburanților lichizi în depozite petroliere. Studiul utilizează metodologia exergetică aplicată pierderilor de benzină și motorină din operațiunile de descărcare, stocare și încărcare, conform HG 587/2020. Sunt comparate scenarii fără sisteme de control cu scenarii ce includ SCADA, unități de recuperare a vaporilor (VRU) și acoperișuri flotante. Estimările indică o reducere de peste 90% a exergiei pierdute după modernizare, ceea ce susține necesitatea alinierii tehnologice la standardele europene. Lucrarea propune un model de analiză energetică aplicabil la evaluarea și modernizarea infrastructurii de depozitare.*

Cuvinte cheie: *automatizare, emisii volatile, eficiență energetică, tehnologii industriale, analiză exergetică*

Introducere

În contextul cerințelor stricte privind protecția mediului și eficiența energetică, sectorul depozitării produselor petroliere din Republica Moldova trebuie să reducă pierderile fizice și exergetice și să-și modernizeze infrastructura. Pierderile de produse volatile, mai ales în timpul manipulării benzinei, afectează atât performanța economică, cât și sustenabilitatea energetică.

Transpunerea HG 587/2020 impune adoptarea sistemelor VRU, acoperișurilor flotante și automatizării SCADA. Aceste tehnologii reduc emisiile și pierderile exergetice, cu beneficii directe asupra eficienței. Obiectivul articolului este să demonstreze, pe baza datelor de import și a pierderilor actuale, că modernizarea poate genera economii substanțiale și o recuperare rapidă a investițiilor.

2. Evaluarea pierderilor exergetice în sistemul actual

În Republica Moldova, conform datelor oficiale din anul 2024, cantitatea totală de produse petroliere importate a fost de 948 198.88 tone, dintre care 195 956.94 tone de benzină și 695 591.88 tone de motorină. În procesele de manipulare (descărcare, stocare, încărcare), aceste produse sunt supuse pierderilor fizice și exergetice, cauzate în special de evaporări, emisii difuze și manevrare în condiții tehnologice neoptimizate.

Datorită caracterului său puternic volatil, benzina înregistrează pierderi efective estimate la 0.3%, în lipsa unor sisteme moderne de recuperare a vaporilor, încărcării laterale și acoperișurilor flotante. Aplicând această cotă la cantitatea totală importată, utilizând relația Ec. (1) s-a obținut valoarea absolută a pierderilor fizice anuale:

$$m_p = M \cdot \alpha \text{ (kg)} \quad (1)$$

$$m_{pb} = 195\,956\,940 \cdot 0.3\% = 587\,870, \text{ kg},$$

unde: m_{pb} – reprezintă masa anuală pierdută de benzină (kg),

M – este masa totală importată anual (kg),

α – este cota pierderilor (%).

Deși motorina nu este sursă semnificativă de emisii de compuși organici volatili (COV), pierderile sale reprezintă totuși o problemă, în special în condițiile unui sistem tehnologic învechit și puțin automatizat. În cazul motorinei, pierderile actuale sunt estimate la 0.05%, iar valoarea absolută este determinată conform relației Ec. (1).

$$m_{pm} = 695\,591\,880 \cdot 0.0005 = 347\,796 \text{ kg},$$

unde: m_{pm} – reprezintă masa anuală pierdută de benzină (kg),

Presupunând o exergie specifică realistă de $41.4 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ pentru benzină și $40.2 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ pentru motorină, estimată pe baza puterii calorifice inferioare și a unui coeficient exergetic de 0.94, pierderea totală de exergie este determinată conform relației Ec.(2).

$$E_{xd} = m_p \cdot e_s \text{ (J)}, \quad (2)$$

unde: E_{xd} – pierderea anuală de exergie (J),

m_p – masa produsului, (kg),

e_s – exergia specifică.

$$E_{x_{db}} = m_{pb} \cdot e_{sb} = 587\,870 \cdot 41.4 = 24\,338 \text{ GJ}$$

$$E_{x_{dm}} = m_{pm} \cdot e_{sm} = 347\,796 \cdot 40.2 = 13\,982 \text{ GJ}$$

Tehnologiile moderne oferă un potențial semnificativ de reducere a pierderilor, atât exergetice cât și economice.

3. Tehnologii utilizate în reducerea pierderilor exergetice

Unitățile de recuperare a vaporilor (VRU) sunt destinate captării și reconversiei fazei gazoase a hidrocarburilor volatile eliberate în timpul manipulării produselor petroliere. La încărcarea autocisternelor, vaporii formați sunt dirijați printr-o linie dedicată spre instalația de recuperare, prevenind eliberarea lor în atmosferă. VRU-ul este conectat și la rezervoarele de stocare, captând vaporii generați la umplerea acestora și în timpul respirației termice. Hidrocarburile colectate sunt tratate prin adsorbție pe pat de carbon activ (metoda predominantă), absorbție în benzină cu punct de fierbere ridicat sau condensare prin refrigerare, apoi sunt reintroduse în circuitul de stocare.

Acoperișurile flotante interne (IFR), utilizate în rezervoarele cilindrice verticale, plutesc direct pe suprafața lichidului și se deplasează odată cu nivelul produsului. Eliminând spațiul liber de deasupra lichidului, IFR reduc semnificativ volumul de vaporii formați și emisiile cauzate de respirația termică. Sistemele de etanșare perimetrală împiedică pătrunderea aerului și reduc evaporările reziduale. IFR sunt compatibile cu VRU, permițând captarea vaporilor rămași.

Sistemele SCADA asigură monitorizarea și controlul în timp real al proceselor tehnologice. Prin senzorii de nivel, presiune, temperatură și debit, SCADA optimizează operațiunile de recepție, stocare și livrare, detectează devierile și minimizează erorile umane. De asemenea, platforma permite integrarea ulterioară în sisteme avansate de analiză predictivă și Big Data.

Implementarea combinată a acestor tehnologii poate recupera peste 95% din vaporii formați, cu impact direct asupra reducerii pierderilor exergetice și emisiilor de COV.

4. Estimarea pierderilor și a beneficiilor exergetice după implementarea tehnologiilor moderne

Implementarea integrată a tehnologiilor moderne conduc la o reducere substanțială a pierderilor fizice și exergetice în procesele de manipulare a carburanților. Pe baza practicilor europene și a eficienței demonstrate în industrie, pierderile pot fi reduse la cote de 0,01% atât pentru benzină, cât și pentru motorină. Aplicând aceste cote la datele oficiale de import din anul 2024 și utilizând relația din Ec. (2), rezultă:

$$m'_{pb} = 195\,956\,940 \cdot 0.01\% = 19\,596\,kg$$

$$E'_{xb} = 19\,596 \cdot 41.4 = 811\,GJ$$

$$m'_{pm} = 695\,591\,880 \cdot 0.01\% = 69\,559\,kg$$

$$E'_{xm} = 69\,559 \cdot 40.2 = 2\,796\,GJ$$

Tabelul 1

Compararea pierderilor înainte și după modernizare și impactul asupra emisiilor CO₂

Produs	Pierdere actuală, (tone/an)	Pierdere estimată, (tone/an)	Exergie actuală, (GJ/an)	Exergie după modernizare, (GJ/an)	Reducere exergie, (GJ/an)	CO ₂ evitat, (tone/an)
Benzină	587.87	19.60	24 338	811	23 526	1 756
Motorină	347.80	69.56	13 982	2 796	11 185	882
Total	935.67	89.16	38 319	3 608	34 712	2 638

Datele prezentate în tabel Tab.1 evidențiază efectul pozitiv al modernizării tehnologice asupra eficienței energetice și al protejării mediului. Prin reducerea pierderilor de la 935,67 tone/an la 89,16 tone/an, se obține o economie anuală de peste 34 000 GJ de exergie și se evită emisii de aproximativ 2.640 tone CO₂. Aceste rezultate confirmă că implementarea tehnologiilor precum VRU, IFR și SCADA oferă beneficii multidimensionale – energetice, economice și climatice – justificând necesitatea investițiilor la nivelul infrastructurii de stocare.

5. Evaluarea investițiilor și perioada estimativă de recuperat

Conform datelor disponibile public, piața produselor petroliere din Republica Moldova este concentrată în jurul a trei operatori principali, care ar acoperi aproximativ 95% din volumul total al importurilor. Informațiile accesibile indică faptul că acești operatori utilizează un număr limitat de infrastructuri de depozitare – în total patru depozite petroliere, dotate cu aproximativ 15 rezervoare pentru benzină și 13 pentru motorină.

Modernizarea acestor facilități, prin dotarea cu sisteme de recuperare a vaporilor (VRU), acoperișuri flotante interne (IFR) și platforme SCADA, ar putea presupune investiții considerabile, dar justificate din perspectivă tehnologică, energetică și de mediu. Estimarea costurilor pentru implementarea acestor soluții, incluzând și lucrările conexe (proiectare, infrastructură, automatizare, senzori), este prezentată în următorul tabel Tab.2.

Tabelul 2

Estimare costuri generale pentru modernizarea a patru depozite petroliere

Componentă	Unitate	Număr unități	Cost mediu (EUR)	Subtotal (EUR)
Sisteme VRU	depozit	4	450 000	1 800 000
Acoperișuri flotante (rezervoare benzină)	rezervor	15	55 000	825 000
Sisteme SCADA	rezervor	4	125 000	500 000
Seturi de senzori industriali (de nivel, temperatură, presiune)	rezervor	28	3 500	98 000
Subtotal echipamente principale	—	—	—	3 223 000
Proiectare și avizare (12%)	—	—	—	387 000
Lucrări civile și conexiuni (20%)	—	—	—	645 000
Instruire și integrare IT (5%)	—	—	—	161 000
Total estimat general:	—	—	—	4 416 000

Raportând această investiție la beneficiul economic anual obținut prin reintroducerea în circuitul economic a aproximativ 1.089.000 litri de combustibil (evaluat la circa 1.09 milioane EUR/an), rezultă din relația următoare (Ec.(3)) o perioadă estimativă de recuperare de aproximativ 4.0 ani.

$$T_r = \frac{C_{inv}}{B_{an}} = \frac{4\,416\,000}{1\,090\,000} = 4.05, an \quad (3)$$

6. Concluzii

Modernizarea infrastructurii prin VRU, SCADA și IFR permite reducerea pierderilor cu peste 90%, recuperarea a peste 1 milion litri/an și evitarea a cca 2.600 tone CO₂. Investiția estimată se poate recupera în aproximativ 4 ani, justificând implementarea acestor soluții pentru conformarea cu legislația și creșterea eficienței energetice.

Mulțumiri

Aduc mulțumiri dnei Cristina Efremov, îndrumător și coordonator științific, pentru sprijinul competent și pentru contribuția la clarificarea direcției metodologice a acestei lucrări. Exprim, de asemenea, recunoștință dlui Constantin Borosan, a cărui experiență și viziune asupra domeniului energetic m-au încurajat să valorific experiența practică acumulată printr-o abordare fundamentată științific în cadrul studiilor de masterat.

Surse bibliografice

Legi și acte normative:

1. Directiva 94/63/CE a Parlamentului European și a Consiliului privind controlul emisiilor de COV – <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/?uri=CELEX:31994L0063>
2. Directiva 2009/119/CE privind obligația menținerii stocurilor minime de petrol – <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/?uri=CELEX:32009L0119>
3. HG Republicii Moldova nr. 587/2020 – https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=122652
4. ASTM D1250 / API MPMS 11.1 – Petroleum Measurement Tables – <https://www.api.org>
5. U.S. EPA (2020) – AP-42: Compilation of Air Emissions Factors – <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emissions-factors>
6. European Commission – VOC Recovery Systems Guidance – <https://environment.ec.europa.eu>

HARTĂ DEMONSTRATIVĂ A ENERGIEI VERZI ALIMENTATĂ DE LA BICICLETĂ

Corneliu RĂILEANU^{1*}, Valentin BÂNZARU¹, Florin TESLARI¹

¹Inginerie Electrică, IE24M, Energetică și Inginerie Electrică,
Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

Autorul corespondent: Corneliu RĂILEANU, corneliu.raileanu@ie.utm.md

Coordonatorul științific **Octavian MANGOS**, doctor, lect. univ., UTM

Rezumat: Proiectul descrie realizarea unui sistem tehnic în care o bicicletă modificată funcționează ca generator de energie electrică pentru iluminarea unei hărți a Republicii Moldova. Energia mecanică generată prin pedalare este transformată în energie electrică prin intermediul unui motor BLDC modificat, iar această energie este utilizată pentru activarea secvențială a unor benzi LED care iluminează harta pe zone geografice. Sunt prezentate detalii legate de proiectarea fizică a hărții, integrarea componentelor electronice, precum și calcule privind consumul și producția de energie în diferite condiții de funcționare. Proiectul a fost realizat cu sprijinul UNDP și în parteneriat cu Green City Lab.

Cuvinte cheie: convertor electromecanic, arduino, sustenabilitate, modelare.

Introducere

Promovarea energiei verzi este esențială în combaterea schimbărilor climatice și în reducerea consumului de resurse convenționale [1, 2].

Lucrarea de față explorează realizarea unui sistem experimental bazat pe o bicicletă modificată, capabilă să producă energie electrică prin pedalare. Energia obținută este utilizată pentru alimentarea unui sistem secvențial de iluminare. Proiectul a fost realizat cu sprijinul Programului Națiunilor Unite pentru Dezvoltare (UNDP) și în colaborare cu Green City Lab, și reprezintă o aplicație practică de integrare a unui generator BLDC, a unor circuite de conversie și control electronic, precum și a unui suport fizic modelat și fabricat.

Etapă cheie în modelarea hărții

Modelarea hărții Republicii Moldova s-a realizat utilizând software-ul AutoCAD, care a permis generarea unor contururi precise ale fiecărui raion, menținând proporțiile geografice exacte și delimitările administrative. Procesul de proiectare a fost orientat spre optimizarea geometriei pentru a facilita integrarea componentelor electronice și a sistemului de iluminare.

Materialele au fost pregătite pentru debitare cu ajutorul unei freze CNC, care a asigurat o execuție de mare acuratețe și un finisaj corespunzător cerințelor mecanice ale proiectului.

Geometria rezultatului final a fost verificată pentru conformitatea dimensională, având ca obiectiv integrarea optimă a sistemului de iluminare bazat pe benzi LED și fixarea sigură a componentelor electronice. Această etapă a constituit baza structurală pentru implementarea electronică și funcționalitatea sistemului interactiv.



Figura 1. Modelarea în AutoCAD a Republicii Moldova

Modificarea convertorului electromecanic din asistent în complet electric

Convertoarele electromecanice sunt dispozitive care transformă energia electrică în energie mecanică sau invers, utilizând fenomene electromagnetice [3, 4].

Convertorul electromecanice din bicicletă este unul BLDC cu magneți permanenți cu o putere de 250 W, adică un motor de curent continuu fără perii și colector, ce permite bicicletei să funcționeze la deplasări prin drumuri țărănești.

Motorul original, destinat bicicletelor asistate, avea un sistem care nu permitea generarea de energie în timpul pedalării, deoarece rotorul nu era activat. Acest sistem s-a dovedit neadecvat pentru scopul propus, fiind necesar să se intervină asupra componentei rotorului și a mecanismului de acționare.

S-a realizat o modificare a motorului, astfel încât să fie posibilă generarea de electricitate în momentul în care pedalele sunt puse în mișcare. motorul a fost ajustat pentru a fi acționat direct de mișcarea pedalelor, permițând astfel motorului să funcționeze ca generator în timpul pedalării.

Un alt pas important a fost integrarea unui sistem de recuperare a energiei cinetice. Energia generată în timpul pedalării este stocată și utilizată pentru alimentarea hărții Republicii Moldova.

După modificarea motorului, a urmat testarea acestuia într-un mediu controlat pentru a verifica eficiența și performanța noii configurații. Rezultatele au arătat că motorul poate genera energie chiar și în condițiile unei pedalări mai lente.



Figura 2. Construcția motorului BLDC pentru bicicletă

Pentru a păstra funcționalitatea bicicletei și a-i permite utilizarea continuă în scopul său original, a fost implementat un șunt pentru frâna electrică, care facilitează trecerea între diferitele moduri de operare (transport sau generare de energie). Această soluție asigură o tranziție fluidă și

eficientă între modul de deplasare asistată și cel de generare, fără a compromite performanțele sistemului de frânare.

Avantajele modificării motorului pentru bicicleta asistată a fost transformat într-un sistem complet electric care generează energie activă la pedalare, fără a fi nevoie de un sistem de frânare pentru recuperare. Acest tip de modificare poate crește autonomia bicicletei și poate contribui la un consum mai eficient al energiei, oferind o experiență de pedalare mai sustenabilă.

Asamblarea și integrarea sistemului electronic

În această etapă, s-a realizat instalarea și interconectarea componentelor electronice necesare funcționării sistemului interactiv de iluminare. Placa de control principală utilizată a fost Arduino Mega, aleasă datorită capacității sale de a gestiona multiple intrări și ieșiri digitale necesare coordonării circuitelor de comandă.

Au fost montate două blocuri de relee comandate, care permit conectarea și deconectarea secvențială a benzilor LED, asigurând iluminarea raionată a hărții în funcție de intensitatea pedalării. Pentru adaptarea tensiunii furnizate componentelor electronice, a fost utilizat un chopper, responsabil pentru reducerea tensiunii de la 36 V, furnizată de baterie, la nivelurile necesare diferitelor componente: 24 V pentru banda LED și 9-12 V pentru alimentarea plăcii Arduino.

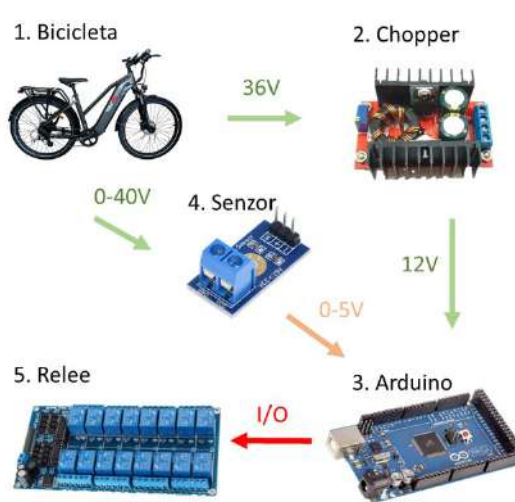


Figura 3. Schema generală de conectare și alimentare

În afară de componentele principale, au fost utilizate și elemente adiționale. Având în vedere că standul este destinat utilizatorilor de toate vârstele, a fost creat un sistem pentru modificarea dificultății de pedalare. Astfel, a fost introdus un potențiometrul care permite ajustarea dificultății pe o scară de la 1 la 10. De asemenea, a fost implementat un sistem pentru calcularea eficienței energetice.

Calcululele generale de consum și producție

Motorul produce 250 Wh, dar consumul este repartizat pe mai multe componente de bază care depinde de lungime și de timp de funcționare [5].

Tabelul 1

Consumatorii hărții Republicii Moldova

Consumator	Led	Arduino	Chopper	Ventilator	Pierderi
Consumul	12 W/m	15 W	10*3 W	16 W	0,2W

Calcul puterii banda led:

$$P_{led} = 12 \text{ W/m} \cdot 26 \text{ m} = 312 \text{ W} \quad 1)$$

Calculul puterii totale:

$$P_{tot} = P_{led} + P_A + P_v + P_p = 312 + 15 + 30 + 0,2 = 373,2 \text{ W} \quad 2)$$

Energia totală a bateriei:

$$E_{baterie} = U \cdot C = 36 \text{ V} \cdot 12,5 \text{ Ah} = 450 \text{ Wh} \quad 3)$$

Autonomia sistemului la funcționare fără generare:

$$t = \frac{E_{baterie}}{P_{tot}} = \frac{450 \text{ Wh}}{373,2 \text{ W}} = 1,21 \text{ h} \quad 4)$$

Se observă că puterea totală este mai mare decât puterea generatorului.

Dacă se setează un timp de 4 secunde la trecere de la un raion la altul adică 2,26 minute la un ciclu obținem o producere de energie mai mare cu 20% decât consumul lui pe perioada aceasta. Din cauză ca inițial la conectarea primului raion consumul este minim și crește treptat dar producerea este constantă.

Pentru a crește eficiența sistemului, se poate optimiza ordinea de conectare a raioanelor. Astfel, raioanele cu perimetre mai mari ar putea fi conectate la sfârșitul ciclului. Această abordare reduce consumul total de energie în primele etape ale ciclului, rezultând o perioadă inițială cu un consum energetic mai scăzut.

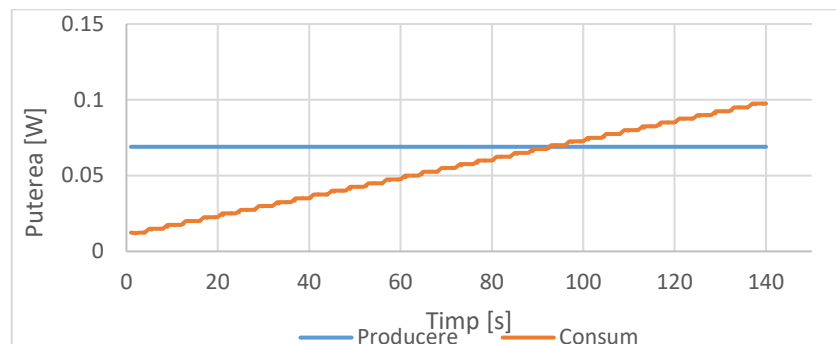


Figura 4. Graficul consumului și producerii timp de 1 ciclu

În graficul de mai sus este indicat consumul de energie pentru iluminatul fiecărui raion, acesta fiind setat uniform la 8,9 W. Totuși, în realitate, consumul de energie al fiecărui raion depinde de perimetrul său.

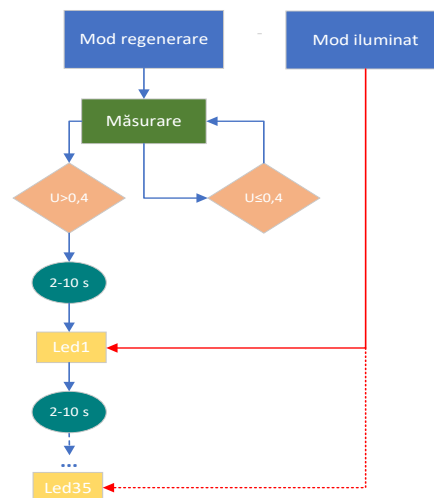


Figura 5. Logica programului

Programul poate fi modificat oricând pentru a schimba logica de funcționare sau pentru a adăuga funcționalități noi. De exemplu, ordinea de iluminare a raioanelor poate fi optimizată astfel încât raioanele cu perimetre mai mari să fie activate mai târziu, reducând consumul în etapele inițiale ale ciclului.

Concluzie:

Proiectul de promovare a energiei verzi prin utilizarea unei biciclete electrice modificate pentru iluminarea hărții Republicii Moldova demonstrează într-un mod inovator și interactiv importanța utilizării surselor regenerabile. Prin integrarea unui convertor electromecanic BLDC modificat pentru generarea de energie, a unui sistem de iluminare progresivă și a unui control electronic bazat pe Arduino Mega, s-a reușit crearea unei experiențe educaționale captivante.

Analiza consumului și producției de energie a evidențiat necesitatea unei gestionări eficiente a resurselor, demonstrând prin calcule că producerea energiei poate fi optimizată prin ajustarea ciclului de iluminare. Sistemul de control flexibil permite modificări rapide ale modului de funcționare, oferind posibilitatea adaptării la diferite scenarii educaționale sau demonstrative.

Surse bibliografice:

Lucrările conferințelor:

1. RACHIER, V., MANGOS, O., SOBOR, I., CHICIUC, A., „Potențialul Energetic Eolian al Republicii Moldova”, Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea Energetică și Inginerie Electrică, Departamentul Inginerie Electrică. – Chișinău: S.n., 2023 (Bons Offices). – 275 p. ISBN 978-5-36241-124-4. Disponibil: <http://repository.utm.md/handle/5014/27772>
2. SOBOR, I., MANGOS, O., TĂRĂȚĂ, S. The Present State of the e-RES Sector in Moldova Republic. In: Sielmen Proceedings of the 13th international conference on electromechanical and power systems. Ediția 13, 9-11 octombrie 2019, Craiova. New Jersey, SUA: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019, p. 0. ISBN 978-172814011-7. DOI: <https://doi.org/10.1109/SIELMEN.2019.8905902>
3. TODOS P., NUCA I., TERTEA G., CAZAC V., "Identification of Parameters and Power Losses of Six-Phase Asynchronous Machines by Induction Regenerative Method," 2023 10th International Conference on Modern Power Systems (MPS), Cluj-Napoca, Romania, 2023, pp. 1-6, DOI: <https://doi.org/10.1109/MPS58874.2023.10187447>
4. BURDUNIUC M., CAZAC V., MANGOS O. and GRUȘAC L., "Experimental Study of the Single-Phase Asynchronous Motor Without External PhaseShifting Elements for Starting," 2024 IEEE International Conference And Exposition On Electric And Power Engineering (EPEi), 17-19 October 2024 Iasi, Romania, pp. 513-517. DOI: <https://doi.org/10.1109/EPEi63510.2024.10758025>
5. BÂNZARU V., RĂILEANU C., et al. „Modelarea motorului asincron monofazat cu înfășurare statorică asimetrică” In: Simpozionul Științific Studențesc Internațional ELSTUDIS 2024, a III-a ediție, Vol.3, pag.242-247, Iași, 17-19 octombrie 2024. ISSN 3061-4348 ISSN-L 3061-4384

UTILIZAREA PILELOR DE COMBUSTIE CU HIDROGEN ÎN CONTEXTUL TRANZIȚIEI ENERGETICE

Mariana CHIVIRIGA

*Departamentul Energetică, grupa EM-24M, Facultatea Energetică și Inginerie Electrică,
Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova*

Autorul corespondent: Mariana Chiviriga, e-mail: mariana.chiviriga@en.utm.md

Îndrumătorul/coordonatorul științific **Dumitru BRAGA**, dr.ing., Facultatea Energetică și Inginerie
Electrică, Universitatea Tehnică a Moldovei

Rezumat. *Utilizarea hidrogenului verde reprezintă un vector energetic promițător, în special în contextul tranziției către un sistem energetic sustenabil fără emisii de gaze cu efect de seră. Hidrogenul fiind produs în rezultatul proceselor ce necesită energie din exterior – precum reformarea combustibililor fosili sau electroliza apei – hidrogenul poate fi utilizat eficient în pile de combustie pentru a genera energie electrică „verde”. Pilele de combustie cu hidrogen prezintă multiple avantaje față de tehnologiile convenționale, inclusiv funcționare silențioasă, emisii zero de poluanți și modularitate, ceea ce le face potrivite pentru aplicații variate – de la vehicule și transport public, până la sisteme industriale și de cogenerare. Comparativ cu bateriile de acumulare, pilele de combustie oferă o durabilitate crescută, performanță constantă și timp de realimentare redus.*

În cadrul Strategiei Hidrogenului a Uniunii Europene, celulele de combustie, în special cele de tip PEMFC și SOFC, ocupă un rol central în obiectivul de neutralitate climatică până în 2050. Uniunea Europeană investește semnificativ în dezvoltarea infrastructurii de producere, transport și stocare a hidrogenului, cu un accent deosebit pe hidrogenul verde. Aplicațiile vizate includ transportul rutier și feroviar, industria grea și generarea distribuită de energie. Deși provocările precum costurile ridicate, infrastructura insuficientă și dependența de metale rare persistă, tendințele în cercetare și sprijinul politic indică un potențial ridicat de scalare a acestor tehnologii. Astfel, pilele de combustie cu hidrogen se conturează ca soluții cheie pentru un viitor energetic mai curat, eficient și rezilient. În acest articol se analizează metodele de obținerea a hidrogenului verde și utilizarea acestuia în pilele de combustie pentru generarea energiei electrice și termice.

Cuvinte cheie: *hidrogen verde, surse regenerabile de energie, pile de combustie.*

Introducere

Hidrogenul joacă un rol central în strategiile climatice ale Uniunii Europene, fiind considerat un vector energetic versatil și sustenabil. În special, hidrogenul verde – produs prin electroliza apei folosind electricitate regenerabilă – este esențial în procesul de decarbonizare a sectoarelor greu electrificabile. Strategia Europeană pentru Hidrogen, aprobat în 2020 [3], stabilește un obiectiv ambițios de a instala până la 40 GW capacitate de electrolizoare până în 2030, generând 10 milioane de tone de hidrogen regenerabil. Acest hidrogen poate fi valorificat în multiple aplicații, dar eficiența maximă este atinsă atunci când este convertit în energie electrică prin pile de combustie.

Tehnologii de pile de combustie

Tehnologiile PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell) și SOFC (Solid Oxide Fuel Cell) sunt cele mai utilizate în aplicațiile practice. PEMFC se remarcă prin operarea la temperaturi joase (~80°C) și sunt preferate în transport, în timp ce SOFC funcționează la

temperaturi ridicate (600–1000°C) și sunt potrivite pentru cogenerare și aplicații staționare. Atât PEMFC, cât și SOFC permit utilizarea directă a hidrogenului, asigurând o eficiență ridicată și emisii locale zero.

Pilele de combustie funcționează prin reacții electrochimice între hidrogen și oxigen, fără ardere, rezultând doar apă, căldură și electricitate. În pilele PEMFC, protonii trec printr-o membrană polimerică, în timp ce electronii sunt deviați printr-un circuit extern, generând electricitate. În pilele SOFC, oxigenul trece printr-un electrolit ceramic și reacționează cu hidrogenul la anod. Această tehnologie are avantajul unei eficiențe mai ridicate și poate funcționa și cu alți combustibili după reformare (biogaz, metan).

Studii de caz și aplicații

Un exemplu remarcabil este proiectul JIVE (Joint Initiative for Hydrogen Vehicles across Europe), care susține introducerea a peste 300 de autobuze cu pile PEMFC în orașe europene [1]. Costul per unitate a scăzut de la peste 1 milion EUR la cca. 650.000 EUR datorită producției de serie și sprijinului public. De asemenea, trenurile Alstom Coradia iLint, alimentate cu hidrogen, sunt în funcțiune în Germania și au fost comandate și de alte state europene [4].

În sectorul industrial, proiectul DEMOSOFC din Torino a demonstrat utilizarea cu succes a pilelor SOFC de 174 kW alimentate cu biogaz din stații de epurare [2]. Acestea au atins o eficiență netă de 50–55% și emisii neglijabile de NO_x sau SO₂. Proiecte similare sunt replicate în Danemarca și Olanda.

Tabelul 1.

Comparație între caracteristicile tehnologiilor PEMFC și SOFC:

Caracteristici	PEMFC	SOFC
Temperatura de operare	60–80°C	600–1000°C
Combustibil	Hidrogen pur	Hidrogen, gaz natural, biogaz
Timp de pornire	Rapid	Lent
Eficiență electrică	40–50%	50–60%
Aplicații tipice	Transport, portabil	Cogenerare, industrial

Perspective și provocări

Companii europene investesc în producția de micro-centrale SOFC pentru locuințe și centre de date. Eficiența globală (electric + termic) poate depăși 85% [5], iar capacitatea planificată de producție este de ordinul sutelor de MW/an.

Adoptarea pe scară largă a acestor tehnologii este limitată de costul ridicat al hidrogenului verde și de infrastructura slab dezvoltată. Conform Hydrogen Europe, atingerea țintelor din Strategia UE necesită investiții de peste 80 miliarde EUR până în 2030. Fonduri sunt alocate prin Horizon Europe, Fondul de Inovare, IPCEI și Clean Hydrogen Partnership.

Un studiu al RMI [6] arată că din 21 miliarde EUR angajate de UE pentru hidrogen, doar ~14% au fost alocate efectiv proiectelor până în 2023. Comisia Europeană a lansat Banca Hidrogenului pentru a stimula investițiile private și a oferi garanții pentru producătorii de hidrogen verde.

Concluzii

Pilele de combustie PEMFC și SOFC oferă o cale fezabilă și curată de utilizare a hidrogenului în tranziția energetică. În plus, integrarea acestor tehnologii în sistemele energetice descentralizate contribuie la stabilitatea rețelelor și reducerea pierderilor. Spre exemplu, proiectul 'Lolland Hydrogen Community' din Danemarca folosește surplusul de energie eoliană pentru a produce hidrogen, care alimentează pilele de combustie pentru producerea locală de electricitate și căldură. Acest model oferă independență energetică pentru comunități izolate și poate fi replicat în zone rurale sau insulare din Europa.

Totodată, noile inițiative legislative, cum ar fi Regulamentul privind piețele de hidrogen și gaz descarbonizat propus în 2021 de Comisia Europeană, creează cadrul legal pentru dezvoltarea unei piețe interne a hidrogenului, incluzând accesul terților la infrastructură, trasabilitatea hidrogenului verde și stimulente financiare. Colaborările industriale, cum ar fi Hydrogen Valleys – regiuni care dezvoltă lanțuri complete de producere, transport și consum al hidrogenului – sunt sprijinite de programe precum Clean Hydrogen Partnership și Connecting Europe Facility.

Progresele tehnologice în reducerea utilizării metalelor rare în pilele PEMFC și dezvoltarea de noi materiale ceramice pentru SOFC contribuie la scăderea costurilor și creșterea durabilității. În paralel, extinderea capacităților de producție de electroizoare în UE favorizează creșterea disponibilității hidrogenului verde la prețuri competitive în deceniile următoare. Studiile de caz europene demonstrează funcționarea fiabilă în transport, industrie și cogenerare. De asemenea, este de remarcat rolul acestor tehnologii în completarea strategiilor de eficiență energetică, în special în contextul tendinței de electrificare a consumului final de energie. În contextul noii Directive privind energia din surse regenerabile (RED III), hidrogenul regenerabil produs local și utilizat în pile de combustie poate contribui semnificativ la atingerea obiectivelor naționale asumate de statele membre. Aplicabilitatea extinsă a pilelor de combustie, adaptabilitatea lor la condiții variate de mediu și funcționare și perspectiva reducerii costurilor prin inovare fac din această tehnologie una esențială pentru tranziția energetică justă și durabilă.

Pilele de combustie alimentate cu hidrogen reprezintă o soluție tehnologică matură și promițătoare, capabilă să răspundă nevoilor actuale ale sistemelor energetice europene. Având la bază reacții curate, un randament ridicat și o adaptabilitate multiplă, aceste tehnologii pot susține atingerea obiectivelor climatice și contribuie la crearea unui sistem energetic mai rezilient, descentralizat și echitabil. Continuarea cercetărilor, extinderea infrastructurii și implementarea cadrului de reglementare vor fi elemente-cheie pentru integrarea completă a pilelor de combustie în economia bazată pe hidrogen a viitorului.

Mulțumiri. Autoarea adresează mulțumiri coordonatorului științific Dumitru Braga pentru sprijinul și îndrumarea oferite pe parcursul elaborării acestei lucrări.

Referințe

Articole în reviste:

1. [ATANASIU M. „Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking: A European R&I Success Story”. Panorama Estrategico, 424>Ei, pp. 15-20.](#)
2. [GANDIGLIO M. et al. “Results from an industrial size biogas-fed SOFC plant – DEMOSOFC project”. International Journal of Hydrogen Energy. Volumul 45, Editia 8, 14 February 2020, pp 5449-5464.](#)

Site-uri web:

3. European Commission. A Hydrogen Strategy for a Climate-Neutral Europe. Brussels, 2020. Disponibil online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/?uri=CELEX:52020DC0301> (accesat la 28 aprilie 2025).
4. The Guardian. “Germany launches world’s first hydrogen-powered train”. 2018. Disponibil online: <https://www.theguardian.com/environment/2018/sep/17/germany-launches-worlds-first-hydrogen-powered-train> (accesat la 26 aprilie 2025).
5. Stationary fuel cell: Bosch plans to start full-scale production in 2024. Disponibil online: <https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/en/stationary-fuel-cell-bosch-plans-to-start-full-scale-production-in-2024-221952.html> (accesat la 30 aprilie 2025).
6. The Case for Recalibrating Europe’s Hydrogen Strategy. Disponibil online. <https://rmi.org/the-case-for-re-calibrating-europes-hydrogen-strategy/> (accesat la 02 mai 2025).

STUDIUL PRIVIND ÎNFĂȘURĂRILE MOTOARELOR HEXAFAZATE

Ghenadie TERTEA

Departamentul Inginerie Electrică, Facultatea Energetică și Inginerie Electrică,
Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

Autorul corespondent: Ghenadie Terteza, ghenadie.tertea@bte.utm.md

Coordonatorul științific **Ilie NUCA**, dr., conf. univ., UTM, Petru TODOS, dr. hab, prof. univ.,

Rezumat. Motoarele asincrone de inducție hexafazate la momentul actual prezintă un interes sporit pentru elaborările noi în domeniul transportului aerian, maritim, urban și interurban datorită unor performanțe cum ar fi: fiabilitate sporită și rezistență la defecte, zgomot și vibrații reduse, caracteristici dinamice îmbunătățite, compatibilitate electromagnetică îmbunătățită, micșorarea curenților în faze, flexibilitate crescută în control, creșterea randamentului general al sistemului, parametri energetici mai buni în comparație cu mașina trifazată tradițională pentru aceste domenii. Variantele de înfășurări pentru motoarele asincrone cu șase faze oferă soluții tehnice adaptabile diferitelor scenarii de utilizare. Alegerea corectă poate conduce la maximizarea performanței sau la optimizarea fiabilității și eficienței energetice, aspecte esențiale pentru viitorul mobilității electrice și al industriei. În cadrul analizei extinse asupra motoarelor asincrone cu șase faze, am identificat și evaluat principalele tipuri de înfășurări utilizate pentru optimizarea performanțelor electromagnetice și mecanice. În această lucrare este prezentată o analiză bibliografică privind avantajele și dezavantajele diverselor variante de bobinaj aplicabile la motoarele asincrone cu șase faze, un segment tehnologic aflat într-o expansiune rapidă, sunt formulate scopul și direcțiile principale de cercetare pentru teza de doctorat.

Cuvinte cheie: motoarele asincrone de inducție hexafazate, variante de bobinaj, înfășurare simetrică, asimetrică, dublu trifazat, cu pas scurtat, cu pas complet.

Introducere

Motoarele electrice cu un număr sporit de faze, în special cele hexafazate, oferă o alternativă performantă la motoarele trifazate convenționale, fiind preferate în aplicații critice ce necesită fiabilitate, control avansat și toleranță la defecte. Comparativ cu cele trifazate, motoarele hexafazate dispun de redundanță crescută, flexibilitate în control și capacitate de funcționare eficientă chiar și în regim de avarie [1–6].

Această toleranță sporită le face potrivite pentru domenii precum transportul electric, aviația, sursele regenerabile și aplicațiile cu cerințe sporite. Performanța acestor motoare este puternic influențată de tipul de înfășurare statorică adoptat, fiecare configurație având implicații asupra comportamentului electromagnetic, pierderilor, pulsațiilor de cuplu și stabilității post-defect [1–3].

1. Clasificarea topologiilor de înfășurare

Structura și topologia înfășurărilor unui motor hexafazat influențează în mod decisiv comportamentul electromagnetic, eficiența energetică și capacitatea de reacție în regim de defect. O clasificare riguroasă a acestor topologii permite proiectanților să selecteze configurația optimă în funcție de specificul aplicației, strategia de control utilizată și cerințele de fiabilitate. Topologiile de înfășurare pot fi clasificate după mai mulți factori, fiecare reflectând o caracteristică structurală sau funcțională importantă. În cele ce urmează sunt prezentate principalele criterii de clasificare a topologiilor de înfășurare.

După distribuția spațială a fazelor:

1.1.1. Înfășurări simetrice (spațiale): înfășurarea statorică este alcătuită din două seturi trifazate. Fazele fiecărui set sunt deplasate uniform la 60° electrice (el). Fig. 1 a, rezultând o structură spațială simetrică, permițând o funcționare echilibrată și un control simplificat. Această configurație este compatibilă cu strategii de control convenționale și oferă un echilibru bun între performanță, simplitate constructivă și ondulații reduse ale cuplului [1-6].

1.1.2. Înfășurări asimetrice: cele două seturi trifazate sunt decalate, de regulă, cu 30° el. Fig.1 b, ceea ce asigură o mai bună separare spațială și vectorială între componentele câmpului magnetic, reducând interferențele armonice. Înfășurările asimetrice sunt mai tolerante la defecte de fază, întrucât curenții pot fi redistribuiți inteligent în subspații pentru a menține funcționarea motorului. [1-6].

1.1.3. Fără decalaj: fazele sunt suprapuse spațial Fig.1 c, favorizând o comandă mai simplă. Această topologie este caracterizată de absența decalajului spațial între seturile de înfășurări, ceea ce face ca comportamentul electromagnetic al mașinii să fie similar cu cel al unui sistem trifazat clasic [1-6].

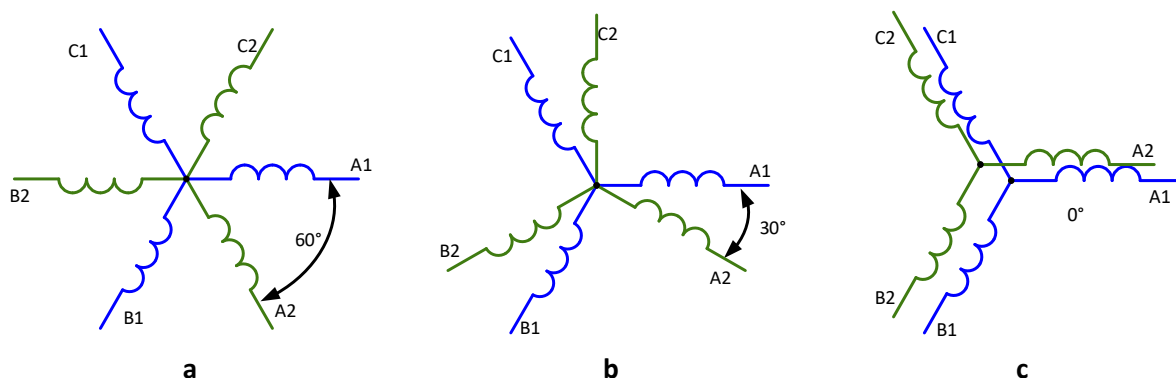


Figura 1. Variante de înfășurări statorice a motoarelor hexafazate

1.1.3. Înfășurări multisector: fazele sunt distribuite în mai multe sectoare ale statorului, reducând cuplul radial neechilibrat și permițând o modularitate sporită. fazele sunt împărțite în sectoare spațiale separate ale statorului. Fiecare sector conține un subset de faze, ceea ce permite separarea fizică și magnetică între seturi. Deși crește complexitatea constructivă, această arhitectură oferă avantaje semnificative în ceea ce privește toleranța la defecte și stabilitatea operațională.

1.1.4. Înfășurări cu bobinaj concentrat pe dinte: oferă o izolație electrică superioară, mai puține pierderi și o toleranță mai mare la scurtcircuite de spire, fiind frecvent utilizate la PMSM (PMSM-Permanent Magnet Synchronous Machines) unde densitatea mare de putere și cerințele stricte privind controlul precis al cuplului impun utilizarea unor înfășurări bine izolate, compacte și eficiente din punct de vedere electromagnetic.

1.2. După tipul de bobinaj:

- **Bobinaj distribuit** - bobinele fiecărei faze sunt împărțite în mai multe secțiuni și plasate în caneluri diferite ale statorului, acoperind mai mulți dinți. Această dispunere permite o formă mai sinusoidală a forței magnetomotoare și o reducere a armonicilor spațiale, contribuind la un cuplu mai neted și un randament mai ridicat;
- **Bobinaj concentrat** - fiecare bobină este concentrată pe un singur dinte sau pereche de dinți adiacenți. Este mai simplu de realizat și permite o modularitate ridicată, fiind utilizat frecvent în aplicații cu spațiu limitat sau în motoare de tip PMSM;
- **Bobinaj FSCW (Fractional Slot Concentrated Winding)** - o variantă a bobinajului concentrat în care numărul de sloturi pe fază pe pol este fracționar. Acest tip de

bobinaj este apreciat pentru dimensiunile reduse ale capetelor de bobină, gradul mare de umplere și buna izolare între faze, dar poate induce distorsiuni armonice care necesită filtrare sau compensare în control.

1.3 După metoda de conexiune a fazelor:

1.3.1. Triunghi (Delta): fazele sunt conectate (sfârșit primei-început a doua), formând un circuit închis fără punct neutru [7-9]. Această conexiune permite apariția curenților de secvență zero și este utilizată frecvent în sistemele în care este necesară funcționarea la tensiuni mai mici cu curenți mai mari. De asemenea, permite un grad mai ridicat de simetrie a curenților și poate oferi performanțe bune în aplicații cu sarcini echilibrate.

1.3.2. Stea: cea mai comună configurație, în care capetele fazelor sunt conectate într-un punct neutru comun [7-9]. Aceasta permite o funcționare echilibrată și este ușor de implementat, dar poate limita fluxul de curent de secvență zero.

1.3.3. Hexagon: fazele sunt conectate în formă de poligon închis, fără punct neutru. Această conexiune permite fluxul curenților de secvență zero și oferă o flexibilitate mai mare în controlul post-defect.

1.3.4. Dublu-deltă: o conexiune mai complexă care asigură reziliență sporită la defecte și un control mai eficient în subspațiile secundare ale VSD. Poate fi utilizată în aplicații ce necesită funcționare continuă sub sarcini variabile.

1.3.5. Conexiuni hibride: combinații între stea, hexagon, pentagon, utilizate în special la mașinile multiphază cu mai multe seturi independente, pentru a combina avantajele fiecărei topologii și a reduce conținutul armonic.

Concluzii

Alegerea unei topologii optime de înfășurare trebuie realizată ținând cont de parametrii electromagnetici, eficiență, metode de control și compatibilitatea cu strategii fault-tolerant. Înfășurările devin astfel un element-cheie în dezvoltarea unor acționări electrice robuste, eficiente și adaptabile la aplicații industriale moderne.

Deși literatura oferă numeroase analize teoretice și simulări privind comportamentul motoarelor hexafazate, există o lipsă semnificativă de lucrări experimentale, în special în regim de defect sau sub sarcini dinamice. Această lipsă evidențiază importanța validării practice a ipotezelor și justifică contribuția experimentală a lucrării de față.

În acest scop, au fost rebobinate motoare cu înfășurări accesibile la conexiuni multiple, iar standul de testare a fost realizat pentru a permite investigarea directă a performanțelor și limitărilor topologiilor propuse. Alegerea unei configurații optime influențează eficiența, fiabilitatea, cuplul, compatibilitatea cu controlul și costurile de fabricație. Se impune o analiză multicriterială a parametrilor electrici, magnetici, termici, mecanici și de control. Etapa practică va continua, urmărind obținerea de rezultate concludente care să valideze ipotezele și să fundamenteze selecția topologiilor pentru aplicații reale.

Mulțumiri. Lucrarea a fost realizată în cadrul subproiectului instituțional UTM numărul 020406 „Modele, sisteme și tehnologii pentru eficiență energetică, decarbonizare și digitalizare a proceselor energetice, industriale, de construcții și de transport” (MoSiTed).

Surse bibliografice

Articole în reviste:

1. TODOS, P.; TERTEA, Gh.; NUCĂ, I. *Harmonic analysis of magnetomotive force in the air gap of six-phase asynchronous machines*. Journal of Engineering Science 2024, Vol. 31 No. 3 (2024), pp. 27-43, DOI: [https://doi.org/10.52326/jes.utm.2024.31\(3\).03](https://doi.org/10.52326/jes.utm.2024.31(3).03)

2. LEVI, E. *Multiphase Electric Machines for Variable-Speed Applications*. IEEE Transactions on Industrial Electronics 2008, Vol. 55, no. 5, pp. 1893–1909, DOI: [10.1109/TIE.2008.918488](https://doi.org/10.1109/TIE.2008.918488)
3. YEPES, A.G.; LOPEZ, O.; GONZALEZ-PRIETO, I.; DURAN, M.J.; DOVAL-GANDOY, J. *A Comprehensive Survey on Fault Tolerance in Multiphase AC Drives*, Part 1: General Overview Considering Multiple Fault Types. Machines 2022, 10(3), pp. – , DOI: <https://doi.org/10.3390/machines10030208>
Lucrări la conferințe:
4. LIVADARU, L.; BOBU, A.; MUNTEANU, A.; VÎRLAN, B.; SIMION, A. *FEM-based Analysis on the Operation of Three-Phase Induction Motor Connected to Six-Phase Supply System*. Part 1 - Operation under Healthy Conditions. In Proceedings of the International Conference on Electromechanical and Power Systems (SIELMEN), Iași, România, 2017; pp. 119–124.
5. TERTEA, Gh.; TODOS, P.; NUCĂ, I. *The fault working regimes of the six-phase symmetrically wound asynchronous motor*. In Proceedings of the 2023 International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering (ISFEE), București, România, 16–18 noiembrie 2023; DOI: <https://doi.org/10.1109/ISFEE60884.2023.10636980>
6. TODOS, P.; NUCA, I.; TERTEA, G.; CAZAC, V. *Identification of Parameters and Power Losses of Six-Phase Asynchronous Machines by Induction Regenerative Method*. In Proceedings of the 2023 10th International Conference on Modern Power Systems (MPS), Cluj-Napoca, România, 2023; pp. 1–6, DOI: <https://doi.org/10.1109/MPS58874.2023.10187447>
Cărți:
7. SIMION, A. *Electrical Machines*. Vol. III, The Asynchronous Machine; PIM: Iași, România, 2012; ISBN 978-606-13-0988-7, 501 p. [în limba română]
8. BOLDEA, I. *Induction Machines Handbook: Transients, Control Principles, Design and Testing*, 3rd ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2023; ISBN 9781032571027 (pbk), 9780367466183 (hbk), 9781003033424 (ebk), 431 p.
9. KOPILOV, I.P.; KLOCOV, B.K.; MOROZKIN, V.P.; TOCAREV, B.F. *Design of Electric Machines*; Iurait: Moscova, Rusia, 2011; ISBN 978-5-9916-0904-3, 767 p. [în limba rusă]

MENTENANȚA ȘI DIAGNOZA ECHIPAMENTELOR ELECTRICE PRIN TERMOGRAFIE

Andrei IVANOV

Departamentul Energetica, grupa EE-211, Facultatea Energetică și Inginerie Electrică,
Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

Autorul corespondent: Andrei Ivanov, e-mail andrei.ivanov@en.utm.md

Coordonatorul științific **Ina DOBREA**, dr., lect. univ., FEIE, UTM, Moldova

Rezumat. *Mentenanța echipamentelor electrice are un rol esențial în asigurarea funcționării sigure și eficiente a instalațiilor energetice. Una dintre cele mai moderne și eficiente metode de diagnosticare preventivă este termografia în infraroșu, o tehnică nedistructivă care permite identificarea timpurie a defectelor prin analiza distribuției temperaturii la suprafața echipamentelor. Aceasta se realizează fără contact direct, fiind ideală pentru echipamente aflate sub tensiune. Prin termografie pot fi detectate rapid probleme precum contacte slăbite, supraîncălziri, conexiuni corodate sau dezechilibre termice, contribuind astfel la reducerea riscului de avarii și la optimizarea programelor de mentenanță predictivă.*

Cuvinte cheie: *diagnoza echipamentelor, termografia în infraroșu, instalații energetice*

Introducere

În majoritatea cazurilor, variațiile de temperatură indică prezența unei defecțiuni sau, cel puțin, reprezintă un semnal de alarmă care necesită o analiză atentă.

Termografia în infraroșu este o metodă de măsurare nedistructivă, de înaltă sensibilitate, ce permite detectarea temperaturii de la distanțe variind de la câțiva metri până la sute de metri, fără a necesita contact direct. Acest aspect este esențial în cazul echipamentelor electrice aflate sub tensiune. Tehnica se numără printre cele mai eficiente metode de diagnosticare on-line, fiind utilizată pentru identificarea timpurie a defectelor precum conexiuni slăbite, contacte imperfecte, corodate sau zone suprasolicitate termic. Acesta are o serie de avantaje în comparație cu metodele tradiționale de testare, și anume [1-3]:

- Fiabilitatea, obiectivitatea și precizia informațiilor obținute;
- Siguranța personalului în timpul examinării echipamentelor;
- Nu este necesară deconectarea echipamentului;
- Nu este necesară pregătirea unui loc de lucru special;
- Volum mare de lucrări efectuate într-un timp scurt;
- Posibilitatea detectării defectelor în stadiu incipient;
- Diagnosticarea majorității tipurilor de echipamente electrice din stații;
- Consum redus de muncă pentru măsurători pe unitatea de echipament.

Aplicarea metodelor termice de control se bazează pe faptul că aproape toate tipurile de defecte ale echipamentelor produc modificări de temperatură ale elementelor defecte și, în consecință, modificări ale intensității radiației infraroșii, care pot fi înregistrate cu echipamente termografice.

1. Detectarea defecțiunilor echipamentelor electrice cu ajutorul termografiei

Termoviziunea joacă un rol important în identificarea defecțiunilor în funcționarea sistemelor comerciale și industriale. Atunci când echipamentele se află într-o stare sau comportament anormal, apar adesea întrebări legate de starea acestora. Semnele evidente pot fi vibrațiile puternice, sunetele neobișnuite sau citirile de temperatură. În absența unor manifestări

vizibile, cauza principală a problemei poate fi dificilă sau chiar imposibil de observat. Semnalul termic este o imagine colorată artificial a radiației infraroșii sau a căldurii emise de un obiect. Compararea semnalului termic ale echipamentelor care funcționează normal cu cele ale echipamentelor aflate în verificare oferă un mod excelent de identificare a defecțiunilor Fig. 1. Principalele avantaje ale termografiei în infraroșu constau în faptul că inspecția poate fi efectuată rapid și fără a interveni asupra echipamentului. Deoarece camerele termice nu necesită contact direct, ele pot fi utilizate și în timp ce echipamentul sau componentele acestuia sunt în funcțiune.



Figura 1. Semnalele termice ale echipamentelor de operare în condiții normale și anormale

Chiar dacă o imagine termică anormală nu poate fi evaluată complet de către termograf, ea poate fi folosită pentru a determina necesitatea unor verificări suplimentare. De exemplu, se poate face o inspecție rapidă a unui motor electric pentru a identifica eventuale anomalii în comportamentul rulmenților sau al cuplajelor. Un rulment al motorului care apare semnificativ mai cald decât carcasa motorului poate indica probleme de lubrifiere sau de aliniere. Problemele de aliniere pot fi semnalate și de faptul că o parte a cuplajului este mai caldă decât cealaltă Fig. 2.

Cheia pentru identificarea cu succes a defecțiunilor folosind termografia constă în înțelegerea condițiilor de bază necesare pentru a detecta eventualele probleme sau stări anormale, dacă acestea există, în orice parte a echipamentului. De exemplu, nu are sens să cauți defecțiuni la un întrerupător electric cu ajutorul unei camere termice dacă acesta nu este în funcțiune, deoarece problemele potențiale (zonele de supraîncălzire) nu vor fi vizibile până când întrerupătorul nu este alimentat cu tensiune.

Determinarea condițiilor necesare pentru identificarea defecțiunilor unui anumit element de echipament nu este întotdeauna un proces simplu. Pe lângă experiență, termografistul trebuie să aibă o înțelegere profundă a unor procese precum transferul de căldură, radiometria, utilizarea camerei termice, precum și funcționarea echipamentului și tipurile de defecțiuni posibile [2].

Radiometria este procesul de înregistrare și măsurare a radiației electromagnetice, în special în domeniul infraroșu al spectrului.

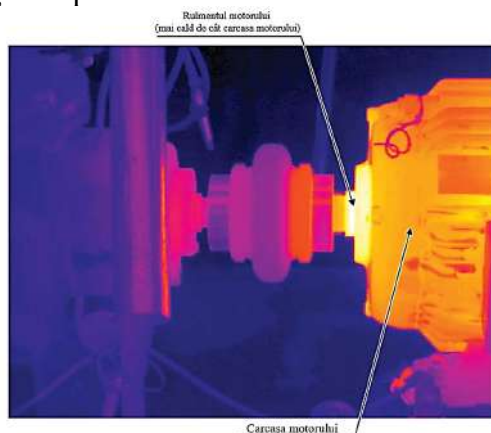


Figura 2. Semnal termic anormal a unui motor electric

Un capac de rulment fierbinte este un semn al posibilelor probleme de aliniere, probleme de lubrifiere sau probleme cu motorul sau echipamentul la care este conectat Fig. 2.

Monitorizarea și arhivarea măsurătorilor termografice oferă administratorilor de instalații electrice un suport valoros pentru luarea unor decizii adecvate, în funcție de gradul de uzură și nivelul de supraîncălzire al echipamentelor. Utilizarea termografiei în infraroșu permite identificarea timpurie a defectelor potențiale, care pot fi remediate înainte de a provoca avarii majore. Astfel, intervențiile de mentenanță pot fi planificate în perioadele de oprire programate, fără a afecta continuitatea exploatarei.

Această abordare contribuie la scurtarea timpilor de întrerupere a echipamentelor și reduce durata inspecțiilor și verificărilor periodice. Conform datelor statistice, defectele asociate supraîncălzirilor excesive apar în aproximativ 1% dintre instalațiile de înaltă tensiune, însă incidența acestora crește semnificativ, până la 8–10%, în instalațiile de medie și joasă tensiune [1].

2. Domeniul de utilizare a termografiei pentru diverse instalații

Aplicarea metodelor de control termografic (TMC) se bazează pe faptul că prezența aproape tuturor tipurilor de defecte în echipamente determină o modificare a temperaturii elementelor defecte și, în consecință, o schimbare a intensității radiației infraroșii (IR), care poate fi înregistrată cu ajutorul camerelor termografice.

TMC pentru diagnosticarea echipamentelor electroenergetice din cadrul centralelor și stațiilor electrice poate fi utilizat pentru următoarele tipuri de echipamente [1-4]:

- transformatoare de putere și izolația de înaltă tensiune a acestora;
- echipamente de comutație: întrerupătoare de putere, separatoare;
- transformatoare de măsură: transformatoare de curent (TC) și de tensiune (TT);
- descărcătoare și limitatoare de supratensiune (LOS);
- bare de distribuție din instalațiile de distribuție (ID);
- conexiuni de contact, izolatoare;
- generatoare (părțile frontale și miezul magnetic activ);
- linii electrice aeriene (LEA) și elementele lor constructive (de exemplu, stâlpii LEA).

3. Exemplu practic de inspecție termografică a unui PT-10/0,4 kV

În cadrul activităților de mentenanță preventivă a echipamentelor electrice, a fost efectuată o inspecție termografică asupra unui transformator de tip TM-630 10/0,4 kV, care alimentează uzina „Etalon”. Scopul acestei inspecții a fost evaluarea comportamentului termic al transformatorului în regim de funcționare și verificarea eficienței sistemului său de răcire.

Imaginea termografică obținută a evidențiat un model clar de circulație a uleiului izolator, specific sistemelor de răcire prin convecție naturală. Se observă cum uleiul cald se ridică în partea superioară a transformatorului prin tuburile de răcire, în timp ce uleiul rece coboară în partea inferioară, completând astfel un circuit termic stabil și eficient.

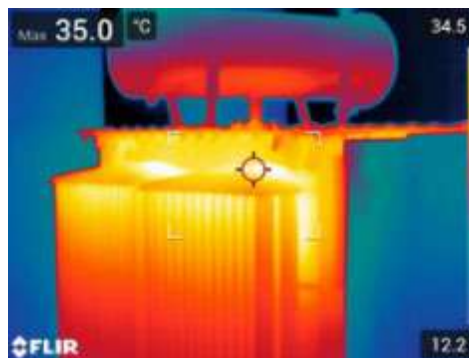


Figura 3. Termoviziunea unui transformator de tip TM-630 10/0,4 kV

Distribuția temperaturii este uniformă, fără prezența unor puncte fierbinți sau anomalii termice, ceea ce indică o funcționare normală a transformatorului și o stare bună a izolației interne. Acest comportament confirmă faptul că sistemul de răcire funcționează corespunzător, iar transformatorul nu prezintă semne de supraîncălzire sau defecte ascunse.

Pe baza inspecției termografice realizate asupra transformatorului TM-630 10/0,4 kV de la uzina „Etalon”, chiar dacă imaginea nu a indicat anomalii evidente, iată o listă de defecte posibile care ar fi putut fi depistate:

- conexiuni slăbite, oxidare, contact imperfect;
- dezechilibru de sarcină, defect intern de izolație;
- obstrucție fizică, lipsă de curent de aer;
- lipsă ulei, stratificare termică, supape blocate;
- pierderi excesive în întrefier, saturație magnetică locală.

Concluzii

Termografia în infraroșu s-a dovedit a fi un instrument esențial în activitățile de mentenanță predictivă și diagnoză a echipamentelor electrice. Prin capacitatea sa de a identifica rapid și fără contact direct zonele cu potențial risc termic, această tehnologie permite detectarea timpurie a defectelor, reducerea timpilor de întrerupere neplanificată și creșterea fiabilității instalațiilor.

Integrarea inspecțiilor termografice în strategia de întreținere contribuie semnificativ la optimizarea costurilor operaționale, planificarea eficientă a reparațiilor și prelungirea duratei de viață a echipamentelor. Într-un sistem energetic modern, orientat spre siguranță, eficiență și sustenabilitate, utilizarea termografiei nu mai este doar o opțiune, ci o necesitate.

Surse Bibliografice:

Cărți sau capitole

1. COSTINAȘ S. Managementul mentenanței stațiilor electrice; Editura Electra: București, 2005.
2. Диагностика электрооборудования электрических станций и подстанций. Disponibil: <https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/34803/1/978-5-7996-1493-5.pdf>
3. BARABOI A. Tehnici moderne în comutația de putere; Editura A92: Iași, 1996.
4. HLUSOV, V.; ARION, V. și DOBREA, I. Economia rețelelor electrice de transport și distribuție: note de curs. UTM. Chișinău: Tehnica-UTM, 2025, 139 p. ISBN 978-9975-64-508-9. <http://repository.utm.md/handle/5014/29323>

PROIECTAREA ȘI ELABORAREA MACHETEI A UNEI PARCĂRI SUSTENABILE PENTRU BICICLETE ȘI TROTINETE

Ciprian SAVCIUC*¹, Valentin BÂNZARU²

¹IE, ISEM-231, Facultatea Energetică și Inginerie Electrică,
Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, R. Moldova

²IE, IE-24M, Facultatea Energetică și Inginerie Electrică,
Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, R. Moldova

*Autorul corespondent: Ciprian SAVCIUC, ciprian.savciuc@ie.utm.md

Coordonatorul științific Vasile RACHIER, conf. univ., dr., UTM

Rezumat Lucrarea are ca obiectiv proiectarea și realizarea unei machete funcționale pentru o parcare sustenabilă destinată bicicletelor și trotinetelor, integrând soluții inovatoare de securitate și eficiență energetică. Sistemul de blocare, dotat cu senzori inteligenți, permite accesul controlat prin card RFID, tag sau conexiune Bluetooth, asigurând înregistrarea datelor utilizatorului și monitorizarea intervalului de parcare. Un ecran digital central afișează în timp real disponibilitatea locurilor și timpul rămas până la eliberarea acestora. În plus, parcare este alimentată de panouri fotovoltaice orientabile automat după traiectoria soarelui, optimizând captarea energiei regenerabile. Metodologia a inclus proiectarea mecanică și electronică a sistemului, dezvoltarea software de control și testarea funcțională în scenarii simulate. Rezultatele au evidențiat o soluție scalabilă, eficientă energetic și sigură, cu aplicabilitate directă în campusuri educaționale și zone urbane aglomerate. Implementarea acestui concept sprijină dezvoltarea infrastructurii de micromobilitate, reducerea impactului ecologic și promovarea unui stil de viață sănătos.

Cuvinte cheie: senzori inteligenți, control bluetooth, energie regenerabilă, infrastructură micromobilitate, eficiență energetică, securitate parcare

Introducere

În contextul urbanizării accelerate, dezvoltarea infrastructurii pentru mijloace de transport alternative, precum bicicletele și trotinetele, este esențială pentru mobilitatea urbană sustenabilă. Lucrarea urmărește realizarea unei machete funcționale de parcare ecologică, sigură și automatizată pentru aceste vehicule. Soluția propusă integrează tehnologii inteligente precum RFID, Bluetooth și panouri solare orientabile pentru alimentare autonomă. Proiectul răspunde cerințelor actuale de eficiență energetică și securitate, având aplicabilitate practică în mediul urban și universitar. Astfel, el contribuie la tranziția către o micromobilitate verde, în acord cu direcțiile globale de digitalizare și sustenabilitate.

1. Conceptul constructiv [15, 16, 17, 18, 19]

Parcare sustenabilă propusă este destinată bicicletelor și trotinetelor electrice și este proiectată pentru a oferi un spațiu sigur și modern, cu o versiune experimentală ce include 10 locuri dintr-un concept inițial pentru 50. Designul modular al parcării permite asamblarea, demontarea și extinderea ușoară în funcție de necesitățile spațiului disponibil. Mecanismul de blocare inovator se bazează pe senzori inteligenți și elemente reglabile, compatibile atât cu biciclete, cât și cu trotinete, asigurând o securitate ridicată. Alimentarea cu energie regenerabilă este asigurată prin panouri fotovoltaice montate pe acoperiș, cu un sistem de orientare automată după poziția soarelui, ce permite funcționarea independentă a parcării. Materialele alese pentru machetă sunt ușoare și rezistente, imitând soluțiile ecologice, precum plastic reciclat și aluminiu

ușor. În completarea sistemului de securitate, parcare include un ecran digital care afișează în timp real informații despre disponibilitatea locurilor, identificarea utilizatorilor prin card RFID sau conexiune Bluetooth, precum și timpul rămas până la eliberarea locului ocupat. Proiectul răspunde astfel nevoilor de mobilitate urbană sustenabilă, eficientă și sigură, fiind un exemplu de infrastructură modernă, ecologică și adaptabilă.

2. Alegerea elementelor componente [22]

Pentru realizarea machetei funcționale a parării sustenabile s-a folosit placa Arduino Mega 2560 Rev3, aleasă pentru numărul mare de pini. Identificarea utilizatorilor s-a realizat cu modulul RFID RC522, iar comunicarea wireless prin Bluetooth HC-05. Afișajul stării parării a fost realizat cu un ecran LCD 2004 I2C și un modul TM1637, în timp ce motoarele cu reductor și un servo SG90, controlate prin L298N, au asigurat blocarea mecanică. Sistemul include senzori IR și de lumină pentru siguranță și adaptare la mediul înconjurător. Alimentarea este susținută de un sistem solar cu panou WL155x80, modul CN3065 și convertor DC/DC XL6009, pentru autonomie energetică.



Figura 1: Arduino Mega 2560 Rev3 [1]



Figura 2: Modul Bluetooth HC-05 [2]



Figura 3: RFID-modul RC522 [3]



Figura 4: Ecran LCD 2004 cu I2C [4]



Figura 5: Modul LED Display Ceas TM1637 [5]

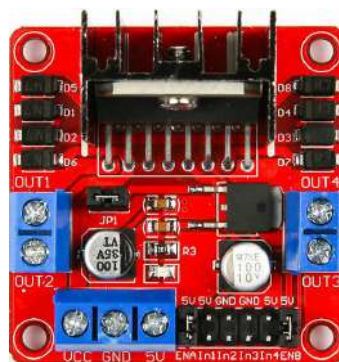


Figura 6: Modul L298N cu PUNTE H DUBLA [6]



Figura 7: Motor cu reductor 3-6V [7]



Figura 8: Motor Servo SG90 [8]

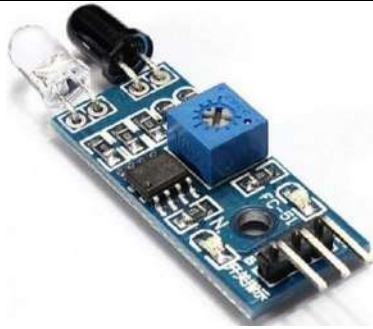


Figura 9: Senzor de evitare a obstacolelor IR [9]



Figura 10: Modul încărcare solara acumulator CN3065 [10]



Figura 11: Panou solar WL155x80 [11]

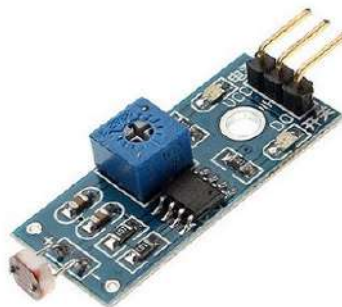


Figura 12: Modul senzor intensitate de lumină [12]



Figura 13: Convertor DC/DC Step up & Step Down XL6009 [13]



Figura 14: Alimentator 12V 10A [14]

3. Realizarea programului de control, comandă automatizare [20, 21]

Programul, scris în Arduino IDE, controlează automat o parcare inteligentă pentru biciclete și trotinetă, integrând RFID, controlul motoarelor și afișajul digital prin Bluetooth. La inițializare, sunt setate modulele externe și stările LED-urilor și motoarelor, iar prin RFID se identifică utilizatorul, activând motoarele pentru a bloca sau elibera locul de parcare. Afișajul TM1637 arată timpul parcării, iar sistemul de urmărire a poziției soarelui optimizează panoul solar, asigurând un control eficient al întregului proces.

```
sketch_apr18a | Arduino IDE 2.3.4
File Edit Sketch Tools Help
sketch_apr18a.ino
1 #include <MFRC522.h>
2 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
3 #include <TM1637Display.h>
4 #include <Servo.h>
5
6 // Pinuri pentru motoare și senzori
7 #define MOTOR1_IN1 40
8 #define MOTOR1_IN2 41
9 #define MOTOR2_IN1 38
10 #define MOTOR2_IN2 39
11 #define SW1 48
12 #define SW2 49
13 #define SW3 46
14 #define SW4 47
15 #define b 45
16 #define g 42
17
18 // Pinuri pentru RFID
19 #define RST_PIN 5
20 #define SS_PIN 53
21 MFRC522 rfid(SS_PIN, RST_PIN);
```

a)

```
21 MFRC522 rfid(SS_PIN, RST_PIN);
22
23 // Tag-uri RFID
24 String MTag1 = "83DF92C9";
25 String MTag2 = "50284655";
26
27 // Pinuri pentru LCD
28 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
29
30 // Pinuri pentru display TM1637
31 #define CLK 4
32 #define DIO 6
33 TM1637Display display(CLK, DIO);
34
35 // Variabile pentru Bluetooth și afișare timp
36 char BluetoothData[5];
37 int hours = 0;
38 int minutes = 0;
39
40 // Pinuri și variabile pentru servo
41 Servo sr1;
42 Servo sr2;
43 int eastLDR = 0;
44 int westLDR = 1;
45 int east = 0;
46 int west = 0;
```

b)

Figura 15: Definirea pinilor și inițializarea modulelor în programul Arduino

4. Conținutul și descrierea machetei

Parcarea este un prototip funcțional de sistem inteligent pentru biciclete și trotinete, bazat pe tehnologia RFID. La apropierea cardului sau cipului RFID, sistemul recunoaște tipul vehiculului și activează barierele corespunzătoare: două pentru bicicletă sau patru pentru trotinetă, acționate de motoare cu reductor prin cabluri și scripete. Fiecare barieră are un senzor IR care verifică poziționarea corectă a vehiculului și oprește motorul dacă apare o eroare. După blocare, utilizatorul se poate conecta prin Bluetooth pentru a introduce detalii despre parcare. Deblocarea se face automat la apropierea aceluiași card sau cip. Sistemul oferă siguranță și automatizare completă într-un format compact și eficient.

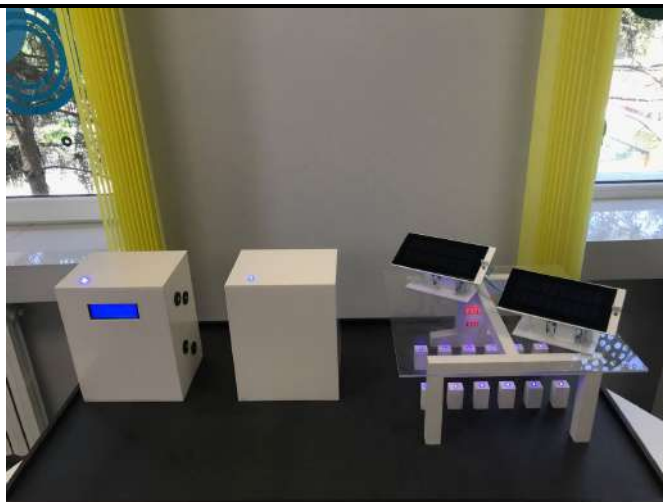


Figura 16: Vedere generală a prototipului de parcare inteligentă cu panouri solare și sistem de blocare automat



Figura 17: Prototip parcare – bariere deschise pentru trotinetă

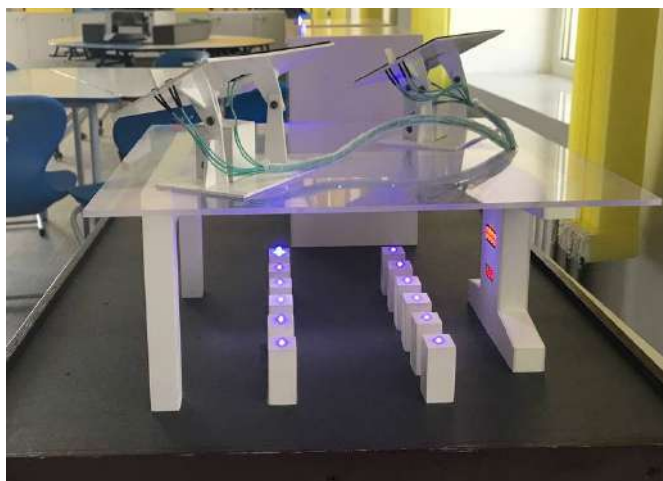


Figura 18: Sistem fotovoltaic cu urmărirea soarelui și afișaj locuri de parcare



Figura 19: Mecanism intern al sistemului de blocare și deblocare al parcării

Concluzii

Proiectul propus a vizat dezvoltarea unei parcări sustenabile pentru biciclete și trotinete, integrând automatizare și energie regenerabilă. Macheta include 10 locuri dintr-un sistem modular de 50, cu un mecanism de blocare inovator ce folosește motoare cu reductor și RFID. Componentelor, precum Arduino Mega 2560, module Bluetooth și panouri fotovoltaice, le-au fost alocate roluri clare, garantând funcționarea autonomă și eficientă a sistemului. Utilizatorii interacționează simplu prin RFID pentru blocarea vehiculului și Bluetooth pentru setarea duratei parcării. Sistemul este completat de senzori pentru siguranța utilizatorilor și alimentat de energie regenerabilă, făcând proiectul scalabil și eco-friendly.

Surse bibliografice:

Site-uri web:

1. https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3?srltid=AfmBOoqfBja8zwZG_i3J9ajDQyApiEPLhLZnw5oRRS5XFjtGLNs_HKj [accesat 07.05.2025].
2. <https://robotica.md/ru/modul-bluetooth-hc-05> [accesat 07.05.2025].
3. <https://robotica.md/ru/modul-rfid-card-tag> [accesat 07.05.2025].
4. <https://robotica.md/ru/ecran-lcd-2004-i2c> [accesat 07.05.2025].
5. <https://robotica.md/ru/modul-led-display-ceas-tm1637> [accesat 07.05.2025].
6. <https://robotica.md/ru/modul-l298n-punte-h-dubla> [accesat 07.05.2025].
7. <https://robotica.md/ru/motor-reductor-3-6v> [accesat 07.05.2025].
8. <https://robotica.md/ru/motor-servo-sg90> [accesat 07.05.2025].
9. <https://robotica.md/ru/senzor-evitare-obstacole> [accesat 07.05.2025].
10. https://greenline.md/?ln=ro&p=el&nm=solar_lipo_charger [accesat 07.05.2025].
11. https://www.greenline.md/?p=el&nm=solar_panel_WL155x80&ln=ro [accesat 07.05.2025].
12. <https://robotica.md/ru/senzor-intensitate-lumina> [accesat 07.05.2025].
13. https://greenline.md/?ln=ro&p=el&nm=XL6009_auto_dc-dc_step_up_down_converter [accesat 07.05.2025].
14. https://greenline.md/?ln=ro&p=el&nm=power_supply_AC-DC_50W_12V_10A [accesat 07.05.2025].

Cărți sau capitole:

15. MIRCO V.; BUTNARI I.; RACHIER V.. Automatizarea unei parcări utilizând controlerul Logo al companiei Siemens, Conferința Tehnico-Științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților, Chișinău, 17-18 noiembrie 2017, Vol. I, pp. 367-370, ISBN 978-9975-45-544-2, CZU 62+378.662(478-25)(082)=135.1=111=161.1 C 65. [accesat 07.05.2025].
16. MOȘNEAGA A.; RACHIER V. Automatizarea unei bare de la o parcare cu controlerul Owen PLC 100, Conferința Tehnico-Științifică a Studenților și Doctoranzilor, Chișinău 2016, Vol. I, pp. 338-342, ISBN 978-9975-45-500-3, ISBN 978-9975-45-501-5. [accesat 07.05.2025].
17. MÂNDRU I. ; MIHAILOV G. ; RACHIER VASILE. Studierea blocului universal de protecție a motoarelor asincrone UBZ - 302, Conferința Tehnico-Științifică a Studenților și Doctoranzilor, Chișinău 2016, Vol. I, pp. 334-337, ISBN 978-9975-45-310-3, ISBN 978-9975-45-311-0. [accesat 07.05.2025].
18. MOLDOVAN A.; BOTNARI I.; RACHIER V. Programarea și utilizarea controlerelor VIPA 300 ale companiei germane VIPA, Conferința Tehnico-Științifică a Studenților și Doctoranzilor, Chișinău 2016, Vol. I, pp. 328-333, ISBN 978-9975-45-500-3, ISBN 978-9975-45-501-5. [accesat 07.05.2025].
19. NICORICI E.; OBRIJANU I.; RACHIER V.. Automatizarea unui semafor cu ajutorul controlerului Logo al companiei Siemens, Conferința Tehnico-Științifică a Studenților și Doctoranzilor, Chișinău, 20-21 Noiembrie 2013, Vol. I, pp. 452-456, ISBN 978-9975-45-310-3, ISBN 978-9975-45-311-0. [accesat 07.05.2025].
20. RACHIER V.. Indicații metodice privind efectuarea lucrărilor de laborator la disciplina Controlere și Automate Programabile, Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea Energetică și Inginerie Electrică, Departamentul Inginerie Electrică, Chișinău 2022, Editura “Tehnica-UTM”, 111 pag., ISBN 978-9975-45-769-9, CZU 621.31:004.4(076.5). Disponibil: <http://repository.utm.md/handle/5014/19991>. [accesat 07.05.2025].
21. RACHIER V.; CAZAC V.. Indicații metodice pentru orele practice și de laborator la disciplina Controlere și Automate Programabile, Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea Energetică și Inginerie Electrică, Departamentul Inginerie Electrică, Chișinău 2022, Editura “Tehnica-UTM”, 95 pag., ISBN 978-9975-45-770-5, CZU 621.31:004.4(076.5). Disponibil: <http://repository.utm.md/handle/5014/19992>. [accesat 07.05.2025].
22. RACHIER V.. Indicații metodice privind efectuarea lucrărilor de laborator la disciplina Echipamente Electrice și Aparate Electrice, Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea Energetică și Inginerie Electrică, Departamentul Inginerie Electrică, Chișinău 2018, Editura “Tehnica-UTM”, 132 pag., ISBN 978-9975-45-533-6, CZU 621.313(076.5). Disponibil: <http://repository.utm.md/handle/5014/15298>. [accesat 07.05.2025].

MODEL DIGITAL CA INSTRUMENT PENTRU AUDITUL ENERGETIC AL BLOCURILOR LOCATIVE: O ABORDARE CONCEPTUALĂ PENTRU REPUBLICA MOLDOVA

Galina VERDEȘ

*Energetica, Tehnologii de conversie a energiei și resurse regenerabile, Școala Doctorală UTM,
Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Moldova*

Îndrumătorul/coordonatorul științific **Mihai TÎRȘU**, dr., conf. cercet., UTM

Rezumat. În contextul necesității creșterii eficienței energetice a fondului rezidențial din Republica Moldova, utilizarea modelelor digitale reprezintă o soluție inovativă pentru realizarea auditului energetic. Această lucrare propune o abordare conceptuală pentru dezvoltarea unui model digital destinat evaluării performanței energetice a blocurilor locative, bazată pe utilizarea datelor deschise și a programelor software gratuite pentru simulare energetică. Rezultatele obținute în urma simulărilor indică potențialul semnificativ al modelului în identificarea pierderilor energetice prin elementele anvelopei blocului locativ și ajută la identificarea zonelor cu consumuri de resurse energetice extra-normate, astfel facilitând optimizarea consumului. Cercetarea evidențiază importanța implementării modelelor digitale ca instrumente de sprijin în procesul de audit energetic și management eficient al resurselor energetice în sectorul rezidențial din Republica Moldova.

Cuvinte cheie: eficiență energetică, simulare energetică, sector rezidențial, optimizarea consumului de energie

Introducere

Tranziția energetică și imperativele de dezvoltare durabilă impun modernizarea fondului locativ din Republica Moldova. Clădirilor rezidențiale le revine aproximativ 45% din consumul final de energie al țării, conform celor mai recente date statistice [1].

În acest context, auditul energetic constituie un instrument esențial pentru evaluarea performanței energetice a clădirilor și identificarea măsurilor de eficiență, precum și evaluarea posibilității de implementare a surselor de energie regenerabilă [2]. Totuși, metodele tradiționale de audit pot fi costisitoare, consumatoare de timp și limitate în capacitatea lor de a simula scenarii complexe sau de a oferi analize în timp real.

Prin urmare, utilizarea modelării digitale a clădirilor oferă o alternativă modernă și flexibilă pentru analiza energetică. Aceste tehnologii permit simularea comportamentului termic al unei clădiri pe baza unor date concrete (dimensiuni, materiale, condiții climatice, consum istoric), cu scopul de a anticipa pierderile energetice și de a propune măsuri de optimizare [3], [4].

Lucrarea de față propune o abordare conceptuală, simplificată, care integrează metode digitale de analiză în cadrul auditului energetic aplicat blocurilor locative din Moldova, cu accent pe instrumente gratuite, date deschise și aplicabilitate practică în condiții reale.

Scopul și obiectivele cercetării

Scopul acestei cercetări este de a elabora o abordare conceptuală privind utilizarea unui model digital simplificat, bazat pe date deschise și instrumente accesibile, ca instrument suport în realizarea auditului energetic al blocurilor locative din Republica Moldova.

Pentru atingerea acestui scop, sunt definite următoarele obiective specifice:

1. Identificarea provocărilor din procesul aferent elaborării auditului energetic pentru fondul rezidențial din Republica Moldova;

2. Realizarea unui exemplu demonstrativ aplicat unui bloc locativ tipic;
3. Simularea comportamentului termic al clădirii și determinarea pierderilor de căldură;
4. Testarea impactului unor scenarii de intervenție energetică asupra consumului specific;
5. Evaluarea potențialului de reducere a consumului de energie pe baza simulărilor.

Această cercetare are un caracter explorator și aplicativ, privind dezvoltarea unei soluții viabile pentru îmbunătățirea procesului de audit energetic, cu potențial de replicare la nivel național.

Metodologie

Metodologia propusă urmărește simularea unui audit energetic conceptual asupra unui bloc locativ, utilizând un model digital construit pe baza datelor deschise și a instrumentelor disponibile în mediul academic și profesional. Selectarea modelului și colectarea datelor de intrare pentru simulare. Modelul a fost adaptat pentru a reflecta caracteristicile tehnice tipice fondului locativ moldovenesc: pereți din beton, ferestre simple, lipsa izolației termice, etc.

Tabelul 1

Caracteristicile geometrice ale modelului selectat

Suprafața brută a unui etaj, [m ²]	Numărul de etaje	Înălțimea totală a pereților exteriori, [m]	Înălțimea netă a unui etaj, [m]	Grosimea pereților exteriori, [m]	Suprafața încălzită netă, [m ²]	Volumul încălzit net, [m ³]
389,0	9	26,98	2,5	0,45	3234	8084

Pentru a construi un model digital, în conformitate cu [5] și [6] s-au utilizat datele climatice locale (precum temperatură, radiația solară, etc) și caracteristicile termofizice ale elementelor de construcție, prezentate în Tab.2.

Tabelul 2

Structura și caracteristicile termofizice ale elementelor anvelopei

Straturi		Grosimea straturilor	Conductibilitatea termică	Rezistență termică
		[m]	[W/mK]	[m ² K/W]
Planșeu de pod				
1	Tencuială interioară	0,01	0,7	0,01
2	Plite din beton armat cu goluri	0,22	0,9	0,24
3	Argilă expandată	0,05	0,17	0,29
4	Mortar ciment/nisip	0,05	0,76	0,07
Pereți				
1	Tencuială interioară	0,02	0,7	0,03
2	Beton armat	0,4	1,74	0,23
3	Tencuială exterioară	0,03	0,76	0,04
Pardosea peste subsol neîncălzit				
1	Beton armat	0,4	1,74	0,23
2	Argilă expandată	0,1	0,17	0,59
3	Mortar ciment/nisip	0,05	0,76	0,07
4	Faianță/laminat	0,02	1,1	0,02

S-a considerat: înainte de renovare ferestrele și ușile blocului analizat prezentau un nivel scăzut de performanță energetică. Cele două tipuri de ferestre: cu ramă din PVC, având o valoare U de 2,0 W/(m²·K), cu ramă din lemn, cu o valoare U de 2,8 W/(m²·K). În ceea ce privește ușile, s-au constatat trei tipuri: ușă metalică, cu o valoare U de 5,0 W/(m²·K), ușă cu ramă din PVC, cu valoarea U de 2,2 W/(m²·K); și o ușă de lemn, având un coeficient U de 3,5 W/(m²·K). Suprafața totală a ferestrelor – 370 m², a ușilor – 105,5 m² (inclusiv balcoane). Aceste valori reflectă

necesitatea înlocuirii elementelor de tâmplărie, pentru a reduce pierderile prin anvelopa clădirii și a crește eficiența energetică globală. Valorile rezistențelor termice pentru elementele opace ale anvelopei clădirii se determină conform [7] cu Ec. (1):

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_{int}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{ext}} \quad (1)$$

Unde:

R_0	Rezistența termică totală a elementului, m^2K/W ;
α_{int}	Rezistența termică a suprafeței din interior, m^2K/W ;
α_{ext}	Rezistența termică a suprafeței din exterior, m^2K/W ;
δ_i	Grosimea fiecărui strat i , m ;
λ_i	Conductibilitatea termică a fiecărui strat i , $W/(m \cdot K)$.

Coeficientul transferului termic se determină conform [7] cu Ec.(2):

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{int}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{ext}}}, W/m^2K \quad (2)$$

S-au determinat rezistențele termice și coeficienții globali de transfer termic (valorile U) ai elementelor de construcție, înainte și după aplicarea măsurilor de eficiență energetică, rezultatele sunt prezentate în Tab. 3:

Tabelul 3

Rezistențele termice și valorile U înainte și după renovare

N	Element	Rezistență termică totală $f(\lambda)$, m^2K/W		Rezistență termică int. $f(\alpha)$, m^2K/W	Rezistență termică ext $f(\alpha)$, m^2K/W	Coeficientul transferului termic, W/m^2K	
		Fără izolație	Cu izolație			Fără izolație	Cu izolație
1	Planșeu de pod	0,62	3,78	0,115	0,083	1,22	0,25
2	Pereți	0,30	4,25	0,115	0,040	2,21	0,23
3	Pardosea	0,90	3,19	0,115	0,166	0,85	0,29

S-au determinat pierderile de căldură prin toate elementele anvelopei clădirii, în funcție de suprafața, coeficientul U și diferența de temperatură dintre interior și exterior (normat) conform Ec.(3):

$$Q = \sum_{i=1}^n (U_i \cdot A_i \cdot (t_{int} - t_{ext}) \cdot \tau) \cdot 10^{-3} \quad (3)$$

Unde:

Q	- Pierderile anuale totale de energie termică, kWh;
U_i	- Coeficientul transferului termic, W/m^2K ;
A_i	- Suprafața îngrădirii termice, m^2 ;
t_{int}	- Temperatura medie interioară, 293,15 K;
t_{ext}	- Temperatura medie exterioară, 273,75 K;
τ	- Durata sezonului, h.

Simulările au fost realizate utilizând programul Excel, cu scopul de a evalua: pierderile de căldură prin anvelopa clădirii (pereți, acoperiș, pardosea, ferestre); distribuția temperaturii și estimarea pierderilor dominante în structură; impactul ipotetic al unor intervenții (ex. termoizolarea elementelor anvelopei); potențialul de reducere a consumului energetic în funcție de scenariile de renovare.

Rezultate și analiză

Modelul digital construit în cadrul cercetării a permis realizarea unor simulări ipotetice asupra comportamentului termic al unui bloc locativ tipic din Republica Moldova. Rezultatele oferă o imagine clară asupra modului în care pierderile de energie (și aporturile) sunt distribuite în structura clădirii și asupra potențialului de intervenție cu măsuri de eficientizare energetică.

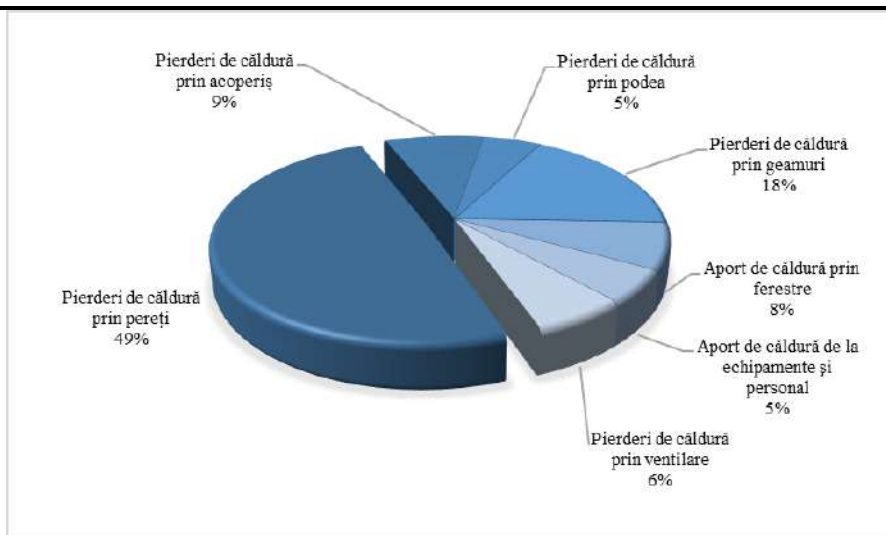


Figura 1. Distribuția pierderilor de energie

Simulările au arătat că cele mai mari pierderi de căldură, pentru blocul rezidențial studiat, se înregistrează prin pereți. Modelul simulat a indicat un consum specific anual de 118 kWh/m², depășind cu mult valorile recomandate pentru clădiri eficiente energetice.

După aplicarea unui scenariu de renovare care include izolarea termică a pereților cu 15 cm vată minerală, izolarea planșeului de pod cu 12 cm vată minerală, izolare pe întrados a planșeului subsolului neîncălzit cu 8 cm de polistiren extrudat, schimbarea parțială ferestrelor pe unele cu ramă PVC, 5 camere și sticlă triplă, având $U = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$, și uși noi cu $U = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$.

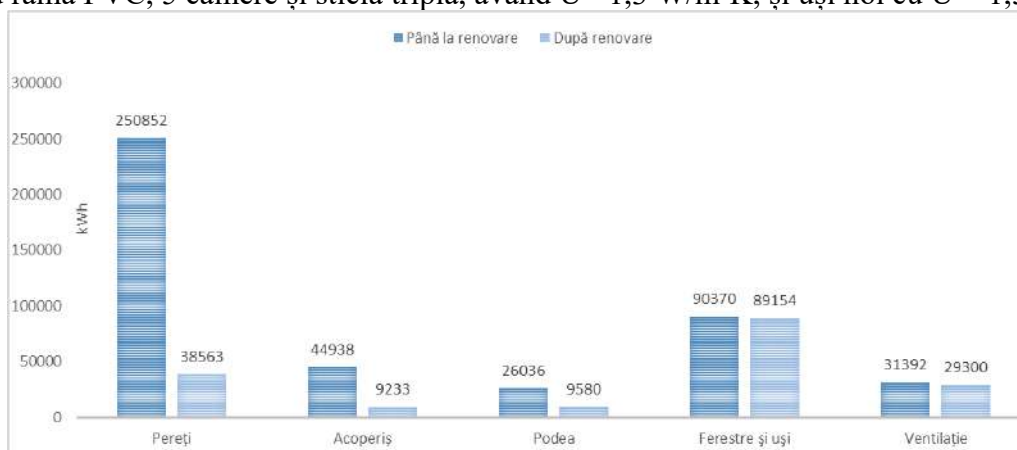


Figura 2. Distribuția pierderilor de energie

Consumul total anual a scăzut în simulare la 35 kWh/m², ceea ce corespunde unei reduceri de aproximativ 70% față de nivelul inițial.

Concluzii

Aplicarea unui model digital conceptual pentru un bloc locativ tipic, construit înainte de anii 1990 în Republica Moldova a permis o simulare detaliată a comportamentului termic, o evaluare preliminară a eficienței energetice, o testarea rapidă a mai multor scenarii de intervenție și o estimare a impactului energetic fără realizarea fizică a lucrărilor de renovare.

Modelul analizat a indicat un consum specific anual de energie termică de aproximativ 118 kWh/m², în condițiile elementelor opace ale anvelopei neizolate și a tâmplăriei ineficiente. Prin simularea unui scenariu de reabilitare energetică care a inclus termoizolarea pereților, planșeului de pod, planșeului peste subsol neîncălzit și schimbarea parțială a tâmplăriei,

consumul specific anual a fost redus la 35 kWh/m², ceea ce înseamnă o reducere în consumul energetic de aproximativ 70%.

Aceste rezultate confirmă potențialul modelării digitale ca instrument de sprijin în procesul de audit energetic, oferind o metodă rapidă și flexibilă de testare a diferitor intervenții înainte de aplicarea lor în realitate.

Mulțumiri

Adresez sincere mulțumiri conducătorului meu științific dr., conf. Cercet., Mihai TÎRȘU, pentru îndrumare și sprijin în realizarea acestei lucrări.

Exprim recunoștință Institutului de Energetică pentru condițiile favorabile de cercetare, accesul la resurse și suport tehnic.

Surse bibliografice:

Site-uri web:

1. www.odyssee-mure.eu/publications/efficiency-trends-policies-profiles/moldova-romanian.html (accesat la data de 01.04.2025); Disponibil online: <https://www.odyssee-mure.eu/publications/efficiency-trends-policies-profiles/moldova-romanian.html>
2. [energie.gov.md](https://energie.gov.md/ro/content/fondul-de-eficienta-energetica-sectorul-rezidential-va-avea-un-buget-de-cel-putin-723?month=2025-03&utm_source). Disponibil online: https://energie.gov.md/ro/content/fondul-de-eficienta-energetica-sectorul-rezidential-va-avea-un-buget-de-cel-putin-723?month=2025-03&utm_source (accesat la data de 02.04.2025);
3. www.sciencedirect.com. Disponibil online: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S277266222300005X> (accesat la data de 04.04.2025);
4. www.ibm.com. Disponibil online: <https://www.ibm.com/think/topics/what-is-a-digital-twin> (accesat la data de 06.04.2025)

Documente normative:

5. Normativ în Construcție Moldovenesc M.01.01:2016 Performanța energetică a clădirilor. Cerințe minime de performanță energetică a clădirilor;
6. Normativ în Construcție Moldovenesc M.01.02:2016 Performanța energetică a clădirilor. Metodologia de calcul a performanței energetice a clădirilor;

Cărți sau capitole:

7. FOKIN, K. Termotehnica în construcții, ed. 4; Editura: Stroyizdat, Moscova, Federația Rusă, 1998, pp. 33 – 132.

CALCULAREA ȘI ALEGEREA CABLURILOR PENTRU O PARCARE SUSTENABILĂ

Ciprian SAVCIUC

Inginerie Electrică, ISEM-231, Facultatea Energetică și Inginerie Electrică,
Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

Autorul corespondent: Ciprian SAVCIUC, ciprian.savciuc@ie.utm.md

Coordonatorul științific Vasile RACHIER, conf. univ., dr., UTM

Rezumat. *Lucrarea are ca obiectiv calcularea și alegerea corectă a cablurilor electrice necesare alimentării unei parcuri sustenabile pentru biciclete și trotinete, având în vedere cerințele de eficiență energetică și siguranță. Studiul a vizat evaluarea consumatorilor principali – inclusiv sistemele de blocare automată, panourile fotovoltaice, iluminatul inteligent și afișajele electronice – și determinarea sarcinilor corespunzătoare fiecărui circuit. Metodologia aplicată a inclus dimensionarea secțiunilor conductoarelor în funcție de intensitatea curentului, verificarea limitelor admise pentru căderea de tensiune și analiza protecției la scurtcircuit și suprasarcină, conform standardelor internaționale. În procesul de selecție au fost luate în considerare atât performanțele electrice, cât și criteriile de sustenabilitate, utilizându-se cabluri cu emisii reduse de carbon și rezistență sporită în condiții de mediu variabile. Rezultatele au condus la identificarea unor soluții tehnico-economice optime, care asigură fiabilitatea și durabilitatea instalației electrice. Concluziile subliniază importanța alegerii riguroase a cablurilor pentru funcționarea eficientă a infrastructurilor sustenabile, cu impact pozitiv asupra mediului și performanței energetice generale.*

Cuvinte cheie: *eficiență energetică, dimensionare conductoare electrice, protecție la scurtcircuit, selecție materiale sustenabile, optimizare energetică, iluminat inteligent*

Introducere

Cablurile electrice joacă un rol esențial în infrastructura energetică, fiind vitale pentru distribuția energiei și transmiterea semnalelor de control. În contextul parcarilor sustenabile pentru biciclete și trotinete, alegerea corectă a cablurilor este crucială pentru siguranță, eficiență energetică și protecția mediului. Lucrarea analizează soluții tehnice adaptate sistemelor integrate precum blocarea automată, iluminatul inteligent, panourile fotovoltaice și afișajele electronice. Sunt abordate aspecte precum calculul secțiunii conductorilor, căderea de tensiune și protecția la scurtcircuit. Proiectul evidențiază importanța respectării cerințelor tehnice în infrastructurile ecologice moderne.

Prezentarea echipamentului care urmează a fi alimentat [10, 11, 12, 13, 14, 15]

Implementarea parcurii sustenabile pentru biciclete și trotinete electrice implică echipamente industriale de calitate, adaptate mediilor externe și conforme cu standardele internaționale. Sistemul este coordonat de un controler PLC Schneider Modicon M221 și monitorizat prin interfața HMI Siemens KTP400, cu acces gestionat de cititorul RFID Siemens RF200. Blocarea vehiculelor este realizată cu motoare 24V sau actuatori liniari, comandate de rele, iar detecția se face prin senzori fotoelectrici Omron sau Sick. Alimentarea este susținută parțial de panouri fotovoltaice de 100W, controler MPPT Victron și acumulator GEL 12V. Iluminarea inteligentă, activată de fotocelule Finder, contribuie la eficiența și autonomia sistemului.



Figura 1: Controler central (PLC) – Schneider Modicon M221 [1]



Figura 2: Gateway industrial 4G – Milesight UG65 [2]



Figura 3: Cititor RFID industrial – Siemens SIMATIC RF200 [3]



Figura 4: Interfață utilizator (HMI) – Siemens KTP400 Basic [4]



Figura 5: Motor electric cu reductor – Maxon 24V DC [5]



Figura 6: Senzor – Omron E3Z-LL81 [6]



Figura 7: Panou solar monocristalin 100W – JA Solar [7]



Figura 8: Invertor hibrid Deye 15 kW trifazat cu tensiune joasă [8]



Figura 9: Sursă de alimentare – Mean Well LRS-350-24 [9]

Prezentarea metodei de calcul a secțiunii conductorului [16]

a) Calculul secțiunii conductorului după intensitatea curentului

$$S = \frac{I}{J_{adm}}, \quad (1)$$

unde:

- S = secțiunea conductorului [mm^2]
- I = curentul prin conductor [A]
- J_{adm} = densitatea admisibilă de curent pentru conductor (tipic: 6–10 A/mm^2 pentru cupru, în funcție de modul de pozare)

b) Verificarea secțiunii după căderea de tensiune

Pentru o linie monofază:

$$\Delta U = \frac{2 \cdot \rho \cdot L \cdot I}{S}, \quad (2)$$

Pentru o linie trifază:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot \rho \cdot L \cdot I}{S}, \quad (3)$$

unde:

- ΔU = căderea de tensiune [V]
- ρ = rezistivitatea conductorului ($\rho_{Cu} = 0.0175 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$, $\rho_{Al} = 0.028 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)
- L = lungimea traseului (dus-întors pentru monofază) [m]
- I = curentul prin conductor [A]
- S = secțiunea conductorului [mm^2]

$$\% \Delta U = \frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100, \quad (4)$$

unde U_n este tensiunea rețelei (230V sau 400V). Se acceptă de regulă:

max. 3% pentru circuite de iluminat

max. 5% pentru circuite de forță sau generale

c) Verificarea termică la scurtcircuit

$$S = \sqrt{\frac{I_{cc}^2 \cdot t}{k^2}}, \quad (5)$$

unde:

- I_{cc} = curentul de scurtcircuit [A]
- t = timpul de declanșare al protecției [s]
- k = coeficient care depinde de material (ex: pentru cupru izolat PVC: $k=115$)

d) Alegerea finală

Secțiunea aleasă trebuie să îndeplinească simultan:

- Condiția de încălzire: $S \geq \frac{I}{J_{adm}}$
- Condiția de cădere de tensiune: $\Delta U \leq 5\%$
- Condiția termică la scurtcircuit: $S \geq \sqrt{\frac{I_{cc}^2 \cdot t}{k^2}}$

Să fie compatibilă cu borna echipamentelor și dispozitivele de protecție

Realizarea calculelor prezentând rezultatele și un exemplu de calcul

Pentru dimensionarea conductoarelor care alimentează echipamentele din parcare sustenabilă, au fost realizate calcule bazate pe puterea consumată, tensiunea de alimentare, curentul rezultat și distanța traseelor electrice. Rezultatele obținute asigură o soluție sigură și eficientă pentru conectarea echipamentelor la rețea, iar tabelul de mai jos prezintă valorile calculate și tipurile de cabluri selectate pentru fiecare consumator.

Tabelul 1

Rezultatele calculelor pentru alegerea cablurilor

Echipament	Putere consumată [W]	Tensiune alimentare [V]	Curent calculat [A]	Cablu recomandat
Controler central (PLC) – Schneider M221	15	24	0.625	CYY-F 2x1.5 mm ²
Gateway industrial 4G – Milesight UG65	5	24	0.208	LIYY 2x0.75 mm ²
Cititor RFID – Siemens SIMATIC RF200	8	24	0.333	LIYCY 4x0.75 mm ² (ecranat)
Interfață utilizator – Siemens KTP400 Basic	15	24	0.625	CYY-F 3x1.5 mm ²
Motor electric cu reductor – Maxon 24V DC	50	24	2.083	H05VV-F 2x1 mm ²
Senzor fotoelectric – Omron E3Z-LL81	2	24	0.083	LIYY 2x0.75 mm ²
Panou solar – JA Solar 100W	100	12	8.333	PV1-F 2x4 mm ²
Invertor trifazat – Deye 15kW	15000	400	37.5	NY 5x10 mm ²
Sursă alimentare – Mean Well LRS-350-24	350	230	1.522	CYY-F 3x1.5 mm ²

Exemplu de calcul pentru PLC Schneider M221:

1. Alimentare PLC (24V DC)

- Consum PLC: 15 W
- Tensiune: 24V
- Calcul curent:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{15}{24} = 0.625 \text{ A}, \quad (6)$$

2. Intrări și ieșiri digitale (buton, senzor ON/OFF, releu)

- Semnal digital: 24V DC, curent de comutație mic (0.01–0.1 A per canal)
- Calcul curent pentru 4 intrări/ieșiri:

$$I \approx 4 \cdot 0.05 = 0.2 \text{ A}, \quad (7)$$

3. Semnale analogice (0–10V sau 4–20 mA)

- Curent maxim per buclă: 20 mA
- Pentru două canale analogice:

$$I_{total} = 2 \cdot 0.02 = 0.04 \text{ A}, \quad (8)$$

Concluzii

Lucrarea a urmărit dimensionarea corectă și selectarea echipamentelor electrice și a cablurilor pentru o parcare sustenabilă destinată bicicletelor și trotinetelor electrice. Inițial, s-a realizat o analiză funcțională folosind o machetă de laborator bazată pe microcontrolere și componente de prototip. Ulterior, soluția a fost adaptată în cadrul real, alegând echipamente industriale conforme cu standardele tehnice, precum PLC-uri, senzori fotoelectrici și panouri fotovoltaice. Calculul curentului, tensiunii de alimentare și condițiilor de montaj a permis selectarea cablurilor optime pentru fiecare tip de sarcină. Metodele de dimensionare au inclus verificarea căderii de tensiune și a intensității curentului admis, conform normelor SR HD 60364. Această abordare a demonstrat posibilitatea integrării unui sistem de parcare inteligentă, eficient energetic și sustenabil.

Surse bibliografice:

Site-uri web

1. <https://www.enrgtech.co.uk/product/plcs-programmable-logic-controllers/ET14151890/TM221CE40R>.
2. <https://www.directindustry.com/prod/milesight-iot/product-204565-2325651.html>.
3. <https://www.directindustry.com/prod/siemens-industrial-identification-locating/product-38286-2256471.html>.
4. <https://www.automation24.es/panel-hmi-siemens-ktp400-basic-pn-6av2123-2db03-0ax0>
5. https://www.vevor.es/motor-dc-cepillado-c_11226/motor-dc-motorreductor-24v-250w-motores-reductores-con-9-ruedas-dentadas-2700rpm-p_010448169812
6. <https://pt.farnell.com/omron-industrial-automation/e3z-ll81-2m-oms/photo-electric-sensor-300mm-pnp/dp/2667307>
7. <https://www.panourisolare365.ro/cumpara/panou-solar-fotovoltaic-monocristalin-100w-12v-460>
8. https://invertoare-deye.ro/p/invertor-deye-hibrid-15kw-2xmppt-sun-15k-sg05lp3-eu-sm2/?utm_source=Google%20Shopping&utm_campaign=Google&utm_medium=cpc&utm_term=7239&gad_source=1&gad_campaignid=22304468628&gbraid=0AAAAABe_hwFhOz9YKG0JyOUihSBv0vHIN&gclid=CjwKCAjw24vBBhABEiwANFG7ywpfHjJeIdq3LwQqEvYFpG4V-GlWEIrrpF-e73RNLbL9CZjinGP26BoC-peQAvD_BwE
9. <https://led-box.ro/products/sursa-alimentare-lrs-350-24-mean-well-350w-24v>

Lucrările conferințelor:

10. MIRCO V.; BUTNARI I.; RACHIER V. *Automatizarea unei parări utilizând controlerul Logo al companiei Siemens*, Conferința Tehnico-Științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților, Chișinău, 17-18 noiembrie 2017, Vol. I, pp. 367-370, ISBN 978-9975-45-544-2, CZU 62+378.662(478-25) (082)=135.1=111=161.1 C 65.
11. MOȘNEAGA A.; RACHIER V. *Automatizarea unei bare de la o parcare cu controlerul Owen PLC 100*, Conferința Tehnico-Științifică a Studenților și Doctoranzilor, Chișinău 2016, Vol. I, pp. 338-342, ISBN 978-9975-45-500-3, ISBN 978-9975-45-501-5.
12. NICORICI E.; OBRIJANU I.; RACHIER V. *Automatizarea unui semafor cu ajutorul controlerului Logo al companiei Siemens*, Conferința Tehnico-Științifică a Studenților și Doctoranzilor, Chișinău, 20-21 Noiembrie 2013, Vol. I, pp. 452-456, ISBN 978-9975-45-310-3, ISBN 978-9975-45-311-0.
13. ZAHARCO V.; SIDELNICOV M.; RACHIER V. *Controlerul Zelio Logic – principii de programare, domenii de utilizare*, Conferința Tehnico-Științifică a Studenților și Doctoranzilor, Chișinău, 20-21 Noiembrie 2013, Vol. I, pp. 442-445, ISBN 978-9975-45-310-3, ISBN 978-9975-45-311-0.

Cărți sau capitole:

14. RACHIER V. *Indicații metodice privind efectuarea lucrărilor de laborator la disciplina Controlere și Automate Programabile*, UTM, Facultatea Energetică și Inginerie Electrică, Departamentul Inginerie Electrică, Chișinău 2022, Editura “Tehnica-UTM”, 111 pag., ISBN 978-9975-45-769-9, CZU 621.31:004.4(076.5). <http://repository.utm.md/handle/5014/19991>.
15. RACHIER V.; CAZAC V. *Indicații metodice pentru orele practice și de laborator la disciplina Controlere și Automate Programabile*, UTM, Facultatea Energetică și Inginerie Electrică, Departamentul Inginerie Electrică, Chișinău 2022, Editura “Tehnica-UTM”, 95 pag., ISBN 978-9975-45-770-5, CZU 621.31:004.4(076.5). <http://repository.utm.md/handle/5014/19992>.
16. RACHIER V. *Indicații metodice privind efectuarea lucrărilor de laborator la disciplina Echipamente Electrice și Aparate Electrice*, UTM, Facultatea Energetică și Inginerie Electrică, Departamentul Inginerie Electrică, Chișinău 2018, Editura “Tehnica-UTM”, 132 pag., ISBN 978-9975-45-533-6, CZU 621.313(076.5). <http://repository.utm.md/handle/5014/15298>

IMPACTUL INSTALĂRII PUNCTELOR TERMICE INDIVIDUALE ASUPRA SISTEMELOR DE ALIMENTARE CENTRALIZATĂ CU ENERGIE TERMICĂ

Vasile BODIU

Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea Energetică și Inginerie Electrică,
Departamentul Energetică, Chișinău, Republica Moldova

Vasile Bodiu, vasile.bodiu@en.utm.md

Îndrumătorul/coordonatorul științific **Viorica HLUSOV**, dr., conf. univ., UTM, FEIE, Departamentul Energetică, Chișinău, Republica Moldova

Rezumat. *La etapa actuală punctele termice individuale sunt instalate la scară largă atât în clădirile din Chișinău cât și Bălți și înlocuiesc sistemele de tip elevator. Articolul conține descrierea echipamentelor componente ale punctului termic individual și al unui elevator și a sistemului de distribuție a energiei termice în interiorul blocului.*

Cuvinte cheie: *sistem de alimentare centralizată cu energie termică, punct termic individual, nod elevator, sistem de distribui.*

Introducere

Republica Moldova este slab înzestrată cu resurse energetice pe bază de combustibili fosili și depinde foarte mult de energia importată, sub formă de gaze naturale, produse petroliere și energie electrică. Aproape 70% din consumul final de energie, 1.861 ktoe din totalul de 2.719 ktoe, se importă. În contextul modernizării infrastructurii energetice din Republica Moldova, instalarea punctelor termice individuale (PTI) reprezintă o soluție tot mai adoptată pentru a îmbunătăți eficiența energetică și confortul consumatorilor. Această tranziție are implicații semnificative asupra sistemelor de alimentare centralizată cu energie termică, în special pentru operatori precum Termoelectrica S.A. (principalul furnizor în mun. Chișinău) și CET-Nord (furnizor mun. Bălți).

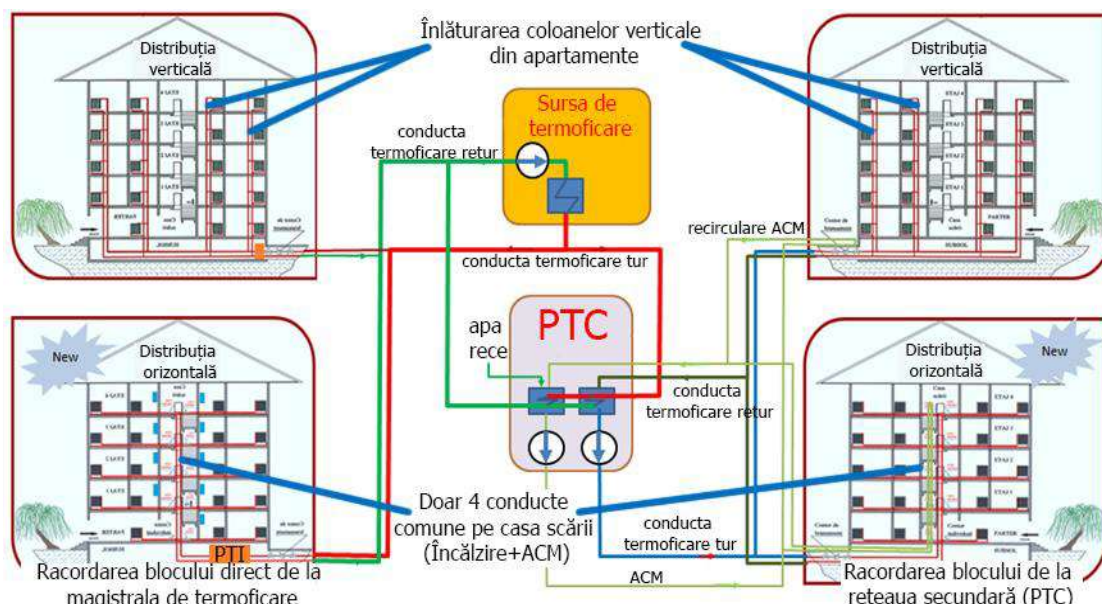
Rețelele termice sunt fundamentale atât pentru funcționarea PTI-urilor, cât și a sistemelor nod elevator.

Sisteme Nod Elevator (Distribuție Verticală):

Sistemul cu distribuție verticală a agentului termic reprezintă un sistem monotubular, corpurile de încălzire sunt conectate în serie, respectiv, agentul termic circulă consecutiv dintr-un corp de încălzire în altul, astfel agentul termic din sistem cedează temperatura inițială. Rețelele termice transportă agentul termic de la punctele termice centrale (PTC) către nodurile elevatoare situate în fiecare clădire. Nodul elevator utilizează energia cinetică a agentului termic primar pentru a asigura circulația agentului termic secundar în sistemul intern de încălzire al clădirii. Printre numeroasele avantaje ale sistemelor de încălzire care utilizează sisteme monotubulare se numără:

1. **Eficiență spațială:** aceste sisteme sunt excelente pentru clădiri cu spațiu limitat datorită structurii cu o singură conductă, care asigură economii de spațiu.
2. **Investiția inițială** într-un sistem monotubular poate fi mai mică în comparație cu sistem bitubular din cauza instalării mai ușoare.
3. **Capacitatea de a distribui căldura** în clădiri cu diferite aranjamente este posibilă datorită faptului că o singură conductă poate alimenta mai multe corpuri de încălzire sau unități de încălzire.

4. **Adaptabilitatea sistemelor monotubulare** le face o alegere bună pentru clădiri care ar putea avea nevoie de modificări suplimentare în timp, deoarece sunt mai ușor de extins sau de actualizat decât alte aranjamente.
5. **În general, sistemele mai simple** pot avea costuri inițiale de instalare mai ieftine decât cele mai complicate, oferind un avantaj financiar chiar de la început.



Puncte Termice Individuale (PTI):

PTI-ul preia acest agent termic și, prin intermediul unor schimbătoare de căldură și sisteme de control (pompe, reductoare, compensatoare, clapete, reglatoare, etc.), îl distribuie în sistemul intern al clădirii la parametri optimizați pentru necesitățile individuale ale consumatorilor. Pentru izolarea hidraulică a sistemelor de încălzire și ventilație ale clădirilor de circuitul SACET se utilizează schimbătoare de căldură cu plăci din oțel inoxidabil. Aceasta sporește fiabilitatea și flexibilitatea atât a SACET-ului, cât și a sistemelor consumatorilor.

- Ajustarea automată a temperaturii agentului termic livrat în sistemele de încălzire și a ventilației clădirii în funcție de temperatura exterioară și necesitățile specifice ale clădirii, consum optim în funcție de necesitățile consumatorilor.
- Producerea apei calde menajere: apa rece este încălzită în schimbătoare de căldură moderne cu plăci de oțel inoxidabil, cu utilizarea energiei termice din SACET.
- Eficiență Energetică Sporită: PTI-urile permit o furnizare eficientă și personalizată a energiei termice, eliminând pierderile asociate distribuției centralizate pe distanțe mari. De asemenea, sistemele cu distribuție orizontală, tipice pentru clădirile cu PTI, au un consum mediu specific de energie termică semnificativ mai mic (59,3 kWh/m² pe an) comparativ cu distribuție verticală (cca 104,1 kWh/m² pe an).
- Control individual al consumului: PTI-urile oferă utilizatorilor control individual asupra temperaturii și consumului de căldură, sporind confortul și permițând economii financiare datorita echipamentelor care permit această reglare individuală în sistemele cu distribuție orizontală.
- Reducerea Dependenței de Vecini și Administrație: Spre deosebire de sistemele cu distribuție verticală, PTI-urile permit conectarea/deconectarea și reglarea consumului fără a depinde de deciziile altora.
- Potențial de Reducere a Importurilor de Energie: Introducerea PTI-urilor și eficientizarea consumului pot duce la diminuarea necesității de import de gaze naturale și energie electrică. Totuși, este logic să presupunem că instalarea PTI-urilor,

care includ pompe de circulație pentru agentul termic în sistemul intern al clădirii (în special în sistemele cu distribuție orizontală), va duce la un consum suplimentar de energie electrică pentru funcționarea acestor pompe și a sistemelor de control automatizate (termostate, senzori).

Implementarea PTI poate duce la o scădere a consumului total de energie termică, afectând veniturile operatorilor centralizați. Totuși, reducerea pierderilor și optimizarea consumului pot compensa aceste pierderi prin eficientizarea operațiunilor.

Flexibilitatea de a reajusta regimul de temperatură pentru clădire după implementarea măsurilor de eficiență energetică și/sau reconstrucția unor sisteme din clădire.

Tarifele pentru energia termică au suferit ajustări semnificative: Termoelectrica: 2.510 lei/Gcal, CET-Nord: 2.126 lei/Gcal (fără TVA).

Calculul emisiilor de CO₂ pentru producerea a 1kWh la arderea gazelor naturale la CET: Fie ca pentru a calcula emisiile de CO₂ rezultate din arderea a 16000 m³ de gaz metan, trebuie să urmărim următorii pași:

1. Se determină cantitatea de energie produsă:
 - Energie electrică: 44 MWh = 44.000 kWh
 - Energie termică: 53 Gcal
2. Se calculează volumul specific de gaz metan necesar pentru producerea energiei:
3. Se determină factorul de emisie al CO₂ pentru gazul metan:
 - Conform surselor disponibile, arderea unui metru cub de gaz natural (care este compus în principal din metan) eliberează aproximativ 2.02 - 2.05 kg de CO₂. Vom folosi o valoare medie de 2.035 kg CO₂/m³.
4. Se calculează emisiile totale de :
 - Emisii totale de CO₂ = Volumul de gaz metan ars × Factorul de emisie CO₂
 - Emisii totale de CO₂ = 16000 m³ × 2.035 kg CO₂/m³ = 32560 kg CO₂
5. Convertim emisiile în tone:
 - 32560 kg CO₂ / 1000 kg/tonă = 32.56 tone CO₂
 - Emisii per kWh = Emisii totale de CO₂ / Energie electrică produsă
 - Emisii per kWh = 32560 kg CO₂ / 44000 kWh ≈ 0.74 kg CO₂/kWh

Deci, producerea a 1 kWh de energie electrică în acest proces generează aproximativ 0.74 kg de CO₂. În general, un copac matur poate capta anual circa 22 de kilograme de dioxid de carbon. Este important de reținut că acest calcul este o estimare bazată pe un factor de emisie mediu pentru gazul metan. Valoarea exactă a emisiilor poate varia în funcție de compoziția specifică a gazului natural utilizat și de eficiența procesului de ardere din cadrul CET-ului.

Analiză comparativă: înainte și după instalarea PTI potrivit CNED, după implementarea măsurilor de eficiență energetică, în blocurile locative se pot înregistra următoarele nivele minime de reducere a consumului de energie:

- Izolarea termică a anvelopei clădirii – 30%;
- Înlocuirea ferestrelor și ușilor exterioare – 15%;
- Instalare punct termic individual – 10%;
- Instalare sistem de distribuție orizontală – 15%;
- Colectoare solare – 20%;
- Panouri fotovoltaice – 30%
- Iluminat – 30%.

**Comparație a principalilor indicatori privind consumul și satisfacția consumatorilor
înainte și după instalarea PTI.**

Indicatori de performanță			
Indicator	Înainte de PTI	După instalarea PTI	Unitate
Consumul mediu de energie	100	70	Gcal
Cost pentru consumatori	251.000	175.700	Lei
Pierderi în rețea	20	10	%
Satisfacția consumatorilor	Medie	Ridicată	

Avantajele modernizării SACET prin PTI:

- Eficiență energetică crescută
 - Eliminarea pierderilor din rețeaua secundară
 - Reglaj individual al temperaturii și programarea consumului
- Reducerea avariilor și intervențiilor
 - Întreținere mai ușoară și costuri mai mici de reparație
 - Identificarea rapidă a defectărilor la nivel local.
- Adoptarea pe scară largă a PTI contribuie la revitalizarea sistemelor centralizate, prin:
- Scăderea pierderilor tehnologice;
- Scăderea presiunii și a necesarului de pompare;
- Creșterea gradului de acceptare socială a sistemelor centralizate modernizate.

Pentru obținerea unei eficiențe energetice sporite în urma implementării PTI, obligatoriu acestea trebuie să funcționeze în tandem cu sistemul orizontal de distribuție a agentului termic în blocurile multietajate. Tab. 1.

Distanțarea neuniformă dintre blocuri locative față de PTC necesită regimuri hidraulice diferite, în dependență de mărimea blocului și distanța până la acesta. Ca una din soluții de modernizare eficientă a sistemelor de tip elevator unde distribuția pe orizontală ingineric nu poate fi realizată ar fi: parțial de a balansa rețelele termice utilizând în debit strict necesar, economia volumului apei potabile folosite pentru prepararea ACM ar fi: producerea a ACM nemijlocit de la nod elevator a blocului distanțat, prin instalarea schimbătorului de căldură în două trepte pe timpul sezonului rece și vara comutarea la preparare ACM în PTC.

Pentru ca procesul de modernizare a SACET prin implementarea PTI să fie eficient, sunt esențiale următoarele aspecte:

- Investiții în infrastructura primară de termoficare (conduite noi, izolații performante);
- Asistență financiară și tehnică pentru proprietari și asociații de locatari;
- Campanii de informare și educare pentru a încuraja tranziția;
- digitalizarea sistemelor de alimentare centralizată cu energie termică.

Prin această soluție, comunitățile urbane pot beneficia de confort, siguranță și costuri predictibile, contribuind totodată la reducerea emisiilor și protejarea mediului.

Mulțumesc pentru cunoștințele primite de la toți Lectorii în ansamblu la ciclu doi a Facultății de Energetica și Inginerie Electrică UTM: D-lui. Lect. univ., dr. ing. Dumitru Braga, D-nei. lector univ., dr. Corina Guțu-Chetrușca, D-lui asist. univ. Iulian Rotari, D-lui. asist. univ. Pavel Ursachi - celor care au contribuit la cercetarea descrisă în această lucrare, și o deosebită mulțumire recunoscătoare D-nei. conf. univ., dr. Viorica Hlusușov pentru ghidare, îndrumare, coordonare și susținere.

Surse bibliografice

Cărți sau capitole

1. TÎRȘU M., BRAGA D., HLUSOV V. Studiul privind distribuția consumului de energie termică în clădirile rezidențiale în care există apartamente deconectate de la sistemul colectiv de alimentare cu energie termică. Chișinău – 2022

Site-uri web:

2. ANRE – Tarife energie termică: <https://anre.md/energie-termica-3-247>
3. Termoelectrica S.A. – Proiecte de modernizare: <https://termoelectrica.md>
4. CET-Nord S.A. – Comunicate de presă: <https://cet-nord.md>

Articol

5. Masuri de eficiență energetică in blocuri locative. CNED [Fondul pentru Eficiență Energetică în sectorul Rezidențial din Moldova \(FEERM\)](#)

AGRIVOLTAICS: THE FUSION BETWEEN AGRICULTURE AND PHOTOVOLTAIC PANELS FOR MORE EFFICIENCY ON BOTH ENDS

Andrei BOTNARU

Dep. Energetic, g. IME-241, Faculty of Energy and Electrical Engineering, TUM, Chisinau, Moldova

Corresponding author: Andrei Botnaru andrei.botnaru@en.utm.md

Coordinator: Ala JECHIU, univ. as., Dep. of Foreign Languages, TUM

Abstract. Agrivoltaics could be the solution to solve the ever-increasing demand for land to produce high quantities of food and energy.

By placing photovoltaic panels either interspaced, vertically or overhead, you can increase the crop yield from the panels acting as a barrier from harsh weather conditions, and also produce more electricity per installed capacity compared with regular ground mounted photovoltaic panels, mostly because in agrivoltaics systems the panels operate at a much cooler temperature.

The results come from studies, where double glass photovoltaic modules have been installed in one case above a field of raspberries, and in another case at an even greater height above a field of 4 different crops.

Mainly with the complexity of designing such systems and with the cost of building them.

The electricity produced by them is a little more expensive than traditional ground mounted photovoltaics, but with further development in this field this difference could be made smaller.

Keywords: agrivoltaics, dual-land use, electricity, production, photovoltaic panels

Introduction

Agrivoltaics is the combination of agricultural activities with the production of electricity using photovoltaic panels (pvps)

Where usually solar farm just gets put on piece of land and then left, agrivoltaics maximize the use of the land and of the photovoltaic panels.

This fusion can be done in many different ways such as: combination with crop fields, animal grazing, natural reserves.

Why to combine these two in the first place instead of keeping them separate, with the rapid changes in the climate, growing population which in turn raises the food and energy needs, and the limited land for agriculture and photovoltaic panels, with all of these conditions we have to maximize our land usage if we want for humanity to live on.

Something else is that pvps require certain conditions for the most amount of electricity to be produced which are: flat lands, best solar exposure, the best tilt angle of the panels, not too hot or too cold. Flat lands for easier installation and maintenance. The tilt angle has to be in such a way that light hits the panels at a 90-degree angle or closest to 90 degrees because as such the light is evenly distributed across the panels and it leads to the most amount of electricity produced [6].

The best temperature for pvps is 25°C [6], and with high temperature the resistance in the solar cells increases which leads to a smaller output of electricity. High heat for long periods of time can damage the protecting case wires, connections and other components.

In cold regions snow can accumulate on the panels which raises the maintenance needs and reduces the amount of electricity being produced and the cold can make the components of the photovoltaic system more brittle.

The main idea is that most of these requirements are fulfilled by agricultural lands which in themselves are pretty limited so the option of starving ourselves for more energy isn't feasible.

Ways to arrange photovoltaic panels on farm land

Agrivoltaics can be installed in various ways to minimize agricultural interference. One method involves ground-level, interspaced panels, allowing crops to grow between them, though careful plant selection is needed due to microclimate and soil changes from shading. Alternatively, panels can be integrated with grazing by smaller, tamer animals like chickens or sheep, which help manage vegetation and prevent panel damage. This installation type offers the highest electricity yield compared to other methods.

Another way is with vertically mounted bifacial solar panels which are very different in design and placement compared to regular solar panels.

These panels have bifacial solar cells, allowing them to collect sunlight from both sides of the panels which means that they can produce more electrical power compared to traditional pvps [3].

Another unique aspect about these panels is that they are placed vertically like fences, which in itself brings a lot of benefits. The panels have to be placed in rows that are sufficiently far apart from each other as to let the farming equipment pass through and avoid any accidental collisions.

A benefit is minimal land loss compare to other types of installations. They don't require any moving parts, so once they are placed, they don't require too much maintenance.

The benefit for the farm land is that the panels act as a protective barrier which can be very useful in regions with high wind erosions.

Another way to install pvps is above the crop fields or other agricultural activities either at a height greater than 2.1 m, which allows humans to freely move underneath and to take care of the crops.

Or they can be placed at a height greater than 4 m which allows for farming machinery to move underneath.

Both of these can either be in a fixed position for a consistent microclimate as to optimize the crop yield or with 1 axis of rotation in order to follow the sun for increased energy production or with 2 axes of rotation for maximal energy production [3,4].

Case studies

The idea of agrivoltaics has been tested in a project from Germany, near Lake Constance where bifacial double glass P.V. modules have been placed above a field of 4 different crops.

This system ended up producing 1266 kWh per installed kW power which is more than Germany's national average of 950 kWh per installed kW power. And during the hot and dry summer of 2018, some crops from under the solar panels have performed better than the reference fields where the crop yield for potatoes was increased by 11%, for winter wheat by 3%, but decreased by 5% for grass-clover [1].

But is not the same for the colder year of 2016 where there was an overall decrease in crop yield from the photovoltaic field compared to the reference field. Which shows that this kind of technology is better suited for more arid regions.

This increase in production could be explained due to the microclimate created by the shade which reduced the heat stress on the plants and evaporation of water.

Being kept at a higher altitude, in combination with the microclimate which helped keep the solar panels cool therefore reducing the internal resistance in the panel cells which in turn resulted in a higher energy output.

This idea has tested by the company Groen Leven from Netherlands which has started many pilot projects with Netherlands's fruit farmers.

One of their biggest sites in the village of Babberich, on a raspberry farm of 4 hectares, 3 of those hectares have been transformed into an agrivoltaics farm the panels were placed facing.

Optimal electricity production (East-West orientation) is compatible with cultivating raspberries under solar panels. Raspberries, being shade-tolerant, benefit from this association. The study utilized panels with wider cell spacing, as standard panels excessively limited plant growth. An added benefit was the protection provided by the panels for the fragile fruit.

The fruits were the same or better than the ones that were not under the solar panels. Evaporation was also reduced, the temperature under the panels was much cooler which also helped with an increase in energy production [2].

There were installed 10250 pvps which protected 31000 plants. In total they had an installed power of 2.6 MW which led to an energy yield of 24003 MWh per year. This amount of energy can power 875 Dutch houses. And being a renewable source of energy, it helped eliminate 1360 tons of CO₂ emissions [5].

Costs and challenges

Agrivoltaics systems do have some drawbacks that make them less appealing for investors.

First of all, agrivoltaics systems have quite a high initial cost because in order not to take too much of the sun's light for the plants, they need their protective case to be made out of glass on both sides of the panels and with a bigger spacing in between the solar cells, and this alone adds quite a lot to the total cost.

And these special panels need to be placed on stilts that are another added cost. Also depending at what height the panels are placed and how far apart are the stilts from each other, that also adds to the cost.

Another drawback is that because of the special pvps the total installed capacity of a system falls below that of regular ground mounted PV systems that is around 1MW per hectare compared with overhead agrivoltaics at a height of more than 2.1m which is around 700 kW per hectare, and agrivoltaics systems at a higher altitude than 4 m is 600 kW per hectare [4].

Something that makes difficult the installation of agrivoltaics systems is that they need to be adapted to whatever crop is grown underneath.

Another aspect that slows down the spread of this technology is that the electricity produced from such systems over a period of 20 years is quite a bit higher than regular ground mounted photovoltaic systems, which produce electricity at a cost from 4 to 7 eurocents per kWh.

In comparison interspaced agrivoltaics systems produce electricity with a cost between 4.4 to 7.9 eurocents per kWh, for overhead agrivoltaics at a height greater than 2.1meters is between 4.7 to 10.3 eurocents per kWh, and at a height greater than 4 meters is between 5.5 to 11 eurocents per kWh [4].

The positive side is that comparing these values with those of roof systems which are between 7.3 and 15.7 eurocents, agrivoltaics systems produce electricity much cheaper, and if the agrivoltaics setup is at a bigger scale, electricity becomes even cheaper [4].

Conclusions

In conclusion, agrivoltaics systems of any kind show great potential for solving our food and energy demands by maximizing the output of our land, while also fighting the climate change.

And they show the greatest potential in regions with a hot and dry climate as shown by the studies, where panels could help with minimizing the evaporation of water and the heat stress on the plants.

But in much cooler climates, plants that are more shade tolerant need to be used to see the same effects.

While at a smaller scale the electricity produced by agrivoltaics systems is more expensive compared with traditional ground mounted systems and lower than roof top systems,

with further research and experimentation with this innovation the cost, complexity and price per kWh of such systems could be lowered and got as close as possible to regular ground mounted photovoltaic systems.

References:

Articole în reviste:

1. WESELEK A.; BAUERLE A.; HARTUNG J.; et al. Agrivoltaic system impacts on microclimate and yield of different crops within an organic crop rotation in a temperate climate. *Agronomy for Sustainable Development* 2021, 41, 59, doi: <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00714-y>.
2. SIRNIK I.; OUDES D.; STREMKER S. Agrivoltaics and landscape change: First evidence from built cases in the Netherlands. *Land Use Policy* 2024, 140, doi: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2024.107099>.
3. ALI KHAN NIAZI K.; VICTORIA M. Comparative analysis of photovoltaic configurations for agrivoltaic systems in Europe. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* 2023, 31, 1101–1113, doi: <https://doi.org/10.1002/pip.3727>.
4. TrOMMSDORFF M.; GRUBER S.; KEINATH T.; HOPF M.; HERMANN C.; SCHÖNBERGER F.; GUDAT C.; TORRES BOGGIO A.; GAJEWSKI M.; HÖGY P.; et al. *Guideline for Agrivoltaics*, 3rd ed.; Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE: Freiburg, Germany, 2024; pp.80

Site-uri web:

5. BayWa r.e. Solar Plants in Benelux – Babberich. Available online: <https://benelux.baywa-re.com/en/solar-plants-in-benelux/babberich> (accessed on 28 April 2025).
6. Photovoltaics.: Available online: <https://en.wikipedia.org/wiki/Photovoltaics>(accessed on 25 April 2025).

WIRELESS POWER TRANSFER FOR SPACECRAFT & ORBITAL ENERGY BEAMING

Gheorghe – Cristian ANGHEL

*Dep. of Electrical Engineering, gr. IE-241, Faculty of Energy and Electrical Engineering,
TUM, Chișinău, R. of Moldova*

Corresponding author: Gheorghe – Cristian ANGHEL, gheorghe-cristian.angel@en.utm.md

Coordinator: **Ala JECHIU**, university assistant, Department of Foreign Languages, TUM

Abstract. *As space missions grow longer and more complex, reliable power is crucial. WPT enables remote energy transmission via microwaves or lasers, reducing spacecraft mass and fuel needs while providing power in shadowed or deep-space areas. It can support satellites without solar arrays, deep-space probes, and electric propulsion. Advances in rectennas, beamforming, metamaterials, and receivers improve efficiency, range, and safety. Though experimental, WPT offers scalable solutions for lunar bases, Martian habitats, and satellite constellations, with potential to become central to future space infrastructure.*

Keywords: *laser power transmission, microwave beaming, rectenna technology, space-based energy systems, wireless power transfer.*

Introduction

Rising demand for efficient, sustainable energy in space has spurred interest in Wireless Power Transfer (WPT). Unlike solar panels and batteries, WPT transmits energy remotely via microwave or laser beams, reducing spacecraft mass. Advances in beamforming, rectennas, and adaptive systems make WPT feasible for deep-space missions, lunar/Martian bases, and satellite constellations, though challenges like beam alignment, conversion efficiency, and space weather remain.

Fundamentals of Wireless Power Transfer

Principles of Electromagnetic Energy Transfer

WPT transmits energy without physical conductors using electromagnetic fields, governed by Maxwell's equations. Its effectiveness depends on frequency, medium, and alignment between transmitter and receiver. Types of WPT: Inductive, Capacitive, Microwave, and Laser-Based

1. **Inductive Coupling:** This approach relies on the interaction of magnetic fields generated by alternating currents in coils. When two coils are positioned in close proximity, energy can be transferred efficiently through magnetic resonance. This method is commonly applied in wireless charging technologies, such as those used in electric vehicles and consumer electronics [1],[2].
2. **Capacitive Coupling:** Capacitive WPT uses the electric field between plates for short-range, low-power transfer but is highly sensitive to environmental factors, affecting efficiency and stability [3].
3. **Microwave Power Transfer (MPT):** MPT converts electricity into microwaves, transmitted to rectennas that reconvert it. Efficient for long-distance space applications, it faces challenges like beam divergence, atmospheric absorption, and communication interference.
4. **Laser-Based Power Transfer:** This method converts electricity into a focused laser beam sent to a remote photovoltaic receiver, which reconverts it into power. Laser-

based WPT allows precise, high-density energy delivery but requires careful alignment and is affected by atmospheric interference.

Efficiency and Challenges in Different WPT Methods

Each WPT approach presents unique trade-offs in efficiency, range, and suitability for space applications:

Inductive and Capacitive Coupling: These short-range methods are highly efficient with optimal alignment but lose effectiveness over distance and are susceptible to electromagnetic interference.

Microwave and Laser-Based Power Transfer: Long-distance WPT faces challenges like beam dispersion, atmospheric losses, and safety concerns. Advances in beam steering, rectennas, and metamaterials are improving its feasibility for spacecraft, satellites, and orbital energy systems [4].

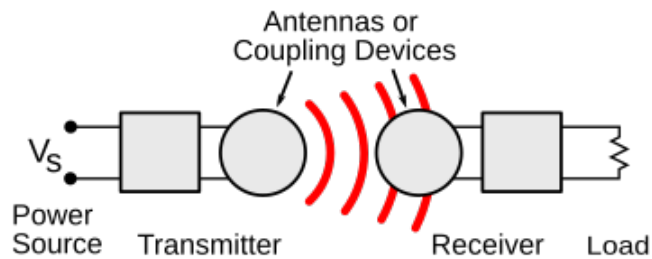


Figure 1. Generic block diagram of a wireless power system

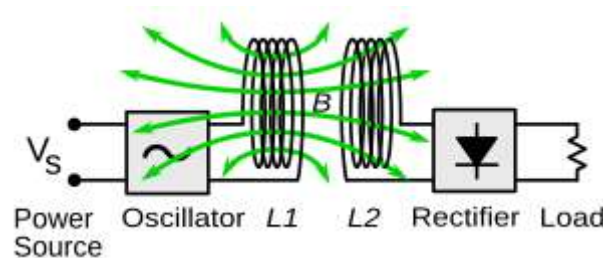


Figure 2. Generic block diagram of an inductive wireless power system

Wireless Power Transfer for Spacecraft

As space exploration advances, reliable and efficient power sources are crucial. Traditional power systems like solar panels and onboard batteries face limitations due to mass, size, and sunlight dependency. WPT offers a solution, enabling spacecraft to be powered remotely, reducing reliance on conventional energy storage.

Powering Satellites Without Solar Panels

Modern satellites depend on solar arrays, which degrade from radiation, dust, and shadowed conditions. WPT can supply continuous power via microwave or laser beams from ground or orbital sources, reducing the need for large solar arrays—especially useful for long-duration, low-light missions.

Deep Space Missions and Beamed Power

Deep-space spacecraft struggle with diminishing solar power and limited radioisotope thermoelectric generators (RTGs). Laser or microwave WPT from orbiting stations could provide sustained energy, extend mission lifespans, and reduce onboard power needs.

Reducing Spacecraft Mass and Fuel Dependency

Spacecraft mass is critical, as power systems add weight. WPT can reduce onboard power needs, freeing space for instruments and supplies, and enable electric propulsion, long-term station-keeping, and deep-space travel. Advances in beam transmission, rectennas, and targeting are key to realizing these benefits [5].

Orbital Energy Beaming Systems

Orbital energy beaming systems use space-based solar stations to provide continuous power to spacecraft or Earth via WPT. Operating outside the atmosphere, they avoid weather and day-night limitations, converting harvested energy into directed electromagnetic waves.

Laser vs. Microwave Beaming for Power Transmission

Microwave Power Transmission (MPT) is selected for orbital energy beaming due to its efficiency and long-distance capability. Lasers offer higher precision but are restricted by atmospheric scattering, making them better suited for space-to-space power transfer. [6].

Potential Receiver Designs

Receivers like rectennas and photovoltaic cells are decisive for converting transmitted energy. Rectennas efficiently convert microwaves into DC power, while photovoltaic receivers capture laser energy, though efficiency remains a challenge. Promote in transmission and receiver design will be key to realizing the potential of orbital energy beaming [7].



Figure 3. A laser pilot beam guides the microwave power transmission to a rectenna

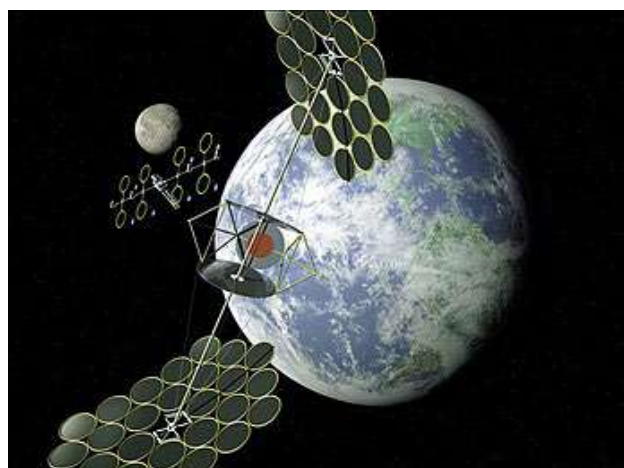


Figure 4. NASA Integrated Symmetrical Concentrator SPS concept

Applications Beyond Spacecraft

WPT offers solutions beyond spacecraft, including powering lunar and Martian missions. WPT can provide continuous energy to habitats, research stations, and rovers, overcoming limits

of solar power caused by long nights, dust storms, or resource scarcity. It can also supply space stations and rovers directly, reducing reliance on bulky batteries and fuel cells, lowering mission mass, and enabling longer, more efficient operations. [8].

Space-to-Earth energy transfer via Wireless Power Transmission could transform global energy. Space-based solar power (SBSP) stations in orbit could collect continuous solar energy and beam it to Earth using microwaves or lasers, providing a nearly constant, renewable energy source. Several international initiatives are exploring its feasibility [9]. This technology could reduce reliance on fossil fuels, supporting a sustainable energy future and climate change mitigation.

Technical Challenges and Limitations

WPT faces challenges like beam divergence, atmospheric and space interference, and safety risks from high-intensity beams. Advanced beam control, resilient system designs, and strict safety measures are essential to make WPT and orbital energy beaming practical.

Recent Advances & Experimental Demonstrations

Recent advancements in WPT have shown promising potential for space-based energy transmission. Experiments have successfully demonstrated power transmission over distances exceeding 100 meters with reasonable efficiency. Notable projects from JAXA and ESA have made significant strides in space-based WPT, including JAXA's 2015 demonstration of microwave power transmission over 55 meters [10].

ESA's SOLARIS program focuses on improving solar cell efficiency and beam transmission, aiming to overcome challenges like beam divergence. Future research is centered on improving transmission efficiency, developing compact receiver systems, and ensuring safety through better beam control and shielding [11].

Future Prospects & Innovations

Emerging technologies in WPT are paving the way for more efficient energy transmission systems. Next-generation WPT technologies—quantum beaming, metamaterials, AI, and autonomous energy management—promise precise, efficient power transmission, overcoming losses and optimizing energy transfer. They could enable long-distance applications, from deep-space probes to sustainable energy solutions on Earth.

Conclusion

WPT can revolutionize space exploration and Earth's energy systems by reducing spacecraft mass, fuel needs, and enabling continuous power. Integration with space-based solar power could support sustainable energy on Earth. Advances in quantum beaming, metamaterials, and AI management will improve efficiency, making WPT key for lunar, Martian, and terrestrial applications.

Bibliography:

Magazine articles:

1. DEGEN C., "Inductive coupling for wireless power transfer and near-field communication," EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, vol. 2021, no. 1, May 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1186/s13638-021-01994-4>.
2. HA-VAN N., SIMOVSKI C. R., CUESTA F. S., JAYATHURATHNAGE P, and TRETYAKOV S. A., "Effective mid-range wireless power transfer with compensated radiation loss," arXiv preprint arXiv:2302.02627, Feb. 2023. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2302.02627>.

3. MZ EREL Et Al. , "Investigation of External Factors for Wireless Capacitive Power Transfer Systems," *Tehnicki Vjesnik* , vol.30, no.4, pp.1081-1087, 2023
4. MD MAHIDUR RAHMAN, S. I., SARKER N., RANI T., "A comprehensive review of wireless power transfer methods, applications, and challenges," *Engineering Reports*, Jun. 2024, doi: <https://doi.org/10.1002/eng2.12951>.
5. KUMAR N., "Beam Powered Propulsion System," *International Journal of Enhanced Research in Science*, vol. 12, pp. 74-78, 2023, Available: https://erpublications.com/uploaded_files/download/nandan-kumar-jha_qLEbo.pdf
6. MIT Technology Review, "The state of wireless power: 2022," *Technology Review*, Oct. 2022. [Online]. Available: https://wp.technologyreview.com/wp-content/uploads/2022/10/MIT_TII_Report2_V11_10072022.pdf. [Accessed: Mar. 2, 2025].
7. ZHENG He, T., LIU G., WU X., WANG Q., YANG M., LV, C. Z. "Analysis and Experiment of Laser Wireless Power Transmission Based on Photovoltaic Panel". *Photonics* 2022, 9, 684. <https://doi.org/10.3390/photonics9100684>
8. BARASKAR A., YOSHIMURA Y., NAGASAKI S., HANADA T. "Space solar power satellite for the Moon and Mars mission" , *Journal of Space Safety Engineering* vol 9, Issue 1, March 2022, Pages 96-105. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2468896721001026?via%3Dihub>
9. CHAUDHARY K., KUMAR D., "Satellite solar wireless power transfer for baseload ground supply: clean energy for the future", *European Journal of Future Research*, vol. 6, pp. 1-9, 2018, <https://doi.org/10.1186/s40309-018-0139-7>
10. Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), "Research and Development of Space Solar Power Systems (SSPS)," Mar. 1, 2015. [Online]. Available: <https://www.kenkai.jaxa.jp/eng/research/ssps/150301.html>. [Accessed: Mar. 2, 2025].
11. SciTechDaily, "ESA SOLARIS: Wireless Power Beamed Down from Space," *SciTechDaily*, Nov. 2022. [Online]. Available: <https://scitechdaily.com/esa-solaris-wireless-power-beamed-down-from-space/>. [Accessed: 02-Mar-2025]

MODERNIZING MOLDOVA'S ENERGY INFRASTRUCTURE: INTEGRATING RENEWABLE SOURCES AND SMART GRID TECHNOLOGIES

Victor CHIRIAC

Department of Foreign Languages, group IME-241, Faculty of Energetics and Electrical Engineering,
Technical University Of Moldova, Chişinău, Republic of Moldova

Corresponding author: Victor Chiriac, victor.chiriac@en.utm.md

Coordinator: **Ala JECHIU**, university assistant, Department of Foreign Languages, UTM

Abstract. *The Republic of Moldova is undergoing an unprecedented energy crisis that is a direct consequence of the level of dependency on imported fossil fuel. In addition, a dated, centralized distribution network further facilitates the risks associated with dependence on imported fuels. The increased use of renewable sources, such as wind and solar, can improve energy security and provide economic competitiveness, but barriers remain in terms of adapting the current grid infrastructure to accommodate intermittent generation and variable energy flows. This paper will explore the potential of upgrading the distribution network of Moldova by using recent developments in technologies, such as real-time data analytics, remote sensing, and AI command-and-control systems for the management of resources, conveying the importance of strategic collaboration of the local government in conjunction with international capital and developers of technology to scale renewables while enhancing the reliability of the grid. By considering the evidence-based approach of targeted legislation, financial incentives, and public-private partnerships, Moldova can support energy independence and continued cost reduction. Overall, the contribution of this paper identifies how integrated planning and smart grids can create sustainable outcomes for economic growth of the Republic of Moldova.*

Keywords: *economic stability, energy security, modernization, policy frameworks, sustainability.*

Introduction

A smart grid is an enhanced electricity network that is improved with modern digital infrastructure to connect production and consumption - real-time observation and intelligent resource management. AI has become an important factor in this development. Due to its ability to analyze vast data streams (i.e. smart meters, smart sensors, and intelligent Internet of Things (IoT) devices) on its own, AI can improve efficiency, stability, and flexibility to achieve smarter electricity solutions [1]. Around the world, energy utilities are advancing quickly by leveraging AI techniques to support day-to-day operations and maintenance of typical grid systems [1]. Included in the analysis is a specific case study on the Republic of Moldova, a developing economy to show how the benefits and challenges can arise from AI smart grid developments in emerging economic markets.

Economic Feasibility of AI in Smart Grids

The adoption of AI for deployment into smart grids will gain economic feasibility for economic advantages by reducing costs, increasing productivity, and improving asset deployment. The studies conducted in the general area of AI in Smart Grid focus on economic aspects: benefit-to-cost ratios, ROI, forecasting global wide savings for all collective businesses. Tab. 1 presents some of the comparative economic aspects for selected case studies and forecasts from different research studies and a market study:

Table 1

Economic Metric / Projection	Value / Description
<i>Benefit-to-Cost Ratio</i> (Smart Grid investments, China 2020–2050)	6.1 : 1 – Every \$1 invested yields ~\$6.1 in benefits. Demonstrates robust ROI in large-scale deployment (study based on Electric Power Research Institute methodology).
<i>Cost Savings from Smart Grids</i> (2022 → 2027)	\$33 B → \$125 B – Annual savings expected to grow from \$33 billion in 2022 to over \$125 billion in 2027 (~279% increase), driven by AI-enabled efficiency and demand management.
<i>Smart Grid Market Size</i> (2024 → 2029)	\$73.85 B → \$161.15 B – Global market value to double by 2029 (16.9% CAGR), driven by investments in AI software, hardware (smart meters, sensors), and services.
<i>Peak Demand Reduction via AI</i>	15–25% – AI-enhanced demand response can reduce peak loads ~15–25% more than traditional methods, avoiding costly peak generation and infrastructure expansion.
<i>Cost of Power Outages</i>	\$150 B/yr – Outages cost U.S. businesses \$150 billion annually. AI's potential to predict and prevent outages could recoup a portion of these losses as economic gain.

The investment in smart grids with AI shows that it helps utilities improve grid management, reduce waste, and increase energy efficiency. Advanced AI analytics such as Load, Demand and Forecasting and Supply are used to align supply and demand levels to lessen waste, also referred to as spillage. A recent review published in Frontiers reviewed AI opportunities for utilities and concluded that AI "...would enable utilities to reduce energy waste, increase energy efficiency and enhance the customer experience" [1]. Therefore, improved grid load forecasting would also assist utilities make better unit commitment and purchasing decisions. With better purchasing decisions units costs are also lowered. AI enabled smart grid voltage control reduces unit costs otherwise there could be losses increasing energy prices paid by consumers [1]. Return on Investment (ROI): A study case of AI smart grids established a ROI case in China over 6:1, meaning that the value returns \$6.1 for each dollar invested in AI for smart grids, for the outlook to 2050 based on cost–benefit analysis with energy efficiency, reduced losses, lost output due to outages and environmental benefits [2]. Market research firm Juniper has predicted smart grid projected savings are \$125 billion by 2027 globally, reflecting close to a fourfold increase from the projected economy in 2022 [3]. AI predictive maintenance will allow utilities to further lower their expenditures, such as by reducing peak demand by 15 - 25% [4], being skirmished to avoid costly expense for building new generation facilities for the future smart grid.

Workforce and Economic Development: Furthermore, smart grids augmented with AI will support broader scale development and growth. As demonstrated, the overall shift to smart grids to create jobs was well established to be "Creating job opportunities.... and in creating a profitable fortune" [1]. With grid energy efficient, productivity is increased directly related to reducing outage losses in the US only \$150 billion in lost sales each year [5]. Smart grids enable AI to return affordable energy, enhance national security, improve new strategies and economic activities.

Case Study: AI and Smart Grid Development in the Republic of Moldova

Moldova is a small Eastern European country with a number of challenges in the power sector, including aging infrastructure, losses, and reliance on imported energy. This case study analyses Moldova's smart grid efforts and the part AI plays in modernizing the grid.

Moldova has initiated smart grid projects with international collaboration. A smart metering pilot started in 2024 with the Ministry of Energy, UNDP and the Italian Government.

This includes the installation of digital meters, to cities like Chişinău and Bălţi [6]. Consumption intervals are recorded and data are sent to utilities by these meters [6]. The programme consists of different customers groups for the test of the technology advantages. Finally, "smart meters [are] a stepping stone towards... and time-of-day pricing" as well as renewable energy integration [6]. One of the goals is to enable differentiated tariffs through meters to encourage shifting of loads. As a grid digitalization proof-of-concept, the pilot includes several thousand meters.

Along with metering, grid modernization drags on. Moldova's government is investing in battery energy storage system (BESS) and network improvements with mobile simulations supported by USAID. In mid-2024, the U.S. announced an \$85m aid deal for BESS and transmission enhancements [7]. These projects are part of its work to improve energy security through connection to European networks – particularly the Romanian network. A 50 MW battery system offers frequency regulation and backup power. With AI management, this storage could help stabilize the Moldovan load. Distribution companies use metering data to trace "commercial losses" and to improve the quality of the supply of power [6]. The results show that the visibility of voltage and outages has been increased, and thus the time to respond on system faults has been significantly reduced.

Moldova's smart grid is still in its early stages, but already includes smart metering pilots, BESS, and some network improvements to connect AI. The size of the country might speed up the adoption of innovations.

Conclusions

AI's role within smart grids is growing in importance across its economic, technical and strategic contexts. Examples of recent studies and applications clearly indicate tangible benefits, such as, cost reductions, significant returns on investment and improved reliability within the forecasting, fault management and cybersecurity domains. In the years to come, AI will help convert power grids into autonomous, resilient "energy internets" better equipped to manage 21st century threats: including large-scale renewable energy integration, the decarbonization and electrification of transport and heat, and ensuring everyone has access to reliable, affordable, and sustainable energy. This transformation is already underway, as evidenced in Moldova, demonstrating that it is possible for even small developing countries to take on smart grid evolution and transformation. AI can create the intention with modern grid infrastructure to lay the foundation for electric grids that are much more than simply smart - they are "intelligent" - continuously learning, adjusting, improving, and optimizing to enable sustainable and reliable energy for our economies.

Bibliography:

Cărţi sau capitole:

1. BALAMURUGAN, M., NARAYANAN, K., RAGHU, N., ARJUN KUMAR, G. B., & TRUPTI, V. N., "Role of artificial intelligence in smart grid – a mini review" *Frontiers in artificial intelligence*, vol. 8 1551661. 4 Feb. 2025, doi:10.3389/frai.2025.1551661
2. BOATENG, N. S., LISCIO, M. C., SOSPIRO, P., & TALLURI, G., "Economic Cost-Benefit Analysis on Smart Grid Implementation in China" *Sustainability* 17, no. 7: 2946. doi:10.3390/su17072946

Site-uri web:

3. Juniper Research (2023), "Smart Grid Global Market Report 2023: Key Opportunities, Challenges & Market Forecasts" [Online]. Available: <https://www.prnewswire.com/news-releases/smart-grid-global-market-report-2023-key-opportunities-challenges--market-forecasts-to-2027-301827152.html>

-
4. Sustainability Directory (2025). “AI’s Impact on Demand Response – Statistics.” [Online]. Available: <https://sustainability-directory.com/question/what-statistics-indicate-ais-impact-on-demand-response>
 5. U.S. Department of Energy (2024). “AI for Energy: Opportunities for a Modern Grid and Clean Energy Economy” [Online]. Available: https://www.energy.gov/sites/default/files/2024-04/AI%20EO%20Report%20Section%205.2g%28i%29_043024.pdf
 6. UNDP Moldova (2024). “Digitalization of the Energy System by Building a Smart Grid” [Online]. Available: <https://www.undp.org/moldova/news/undp-and-italy-contribute-digitalization-energy-system-building-smart-grid>
 7. Energy-Storage News (2024). “US to fund Moldova BESS and grid upgrades to increase energy independence.” [Online]. Available: <https://www.energy-storage.news/us-to-fund-moldova-bess-and-grid-upgrades-to-increase-energy-independence>

THE INTEGRATION OF NANOTECHNOLOGY IN ELECTRICAL ENGINEERING

Sandu ȘUMILA

Faculty of Energetics and Electrical Engineering, IE-241, Technical University of Moldova,

Autorul corespondent: Sumila Sandu, sandu.sumila@en.utm.md

Coordinator: **Ala JECHIU**, university assistant, Department of Foreign Languages, UTM

Abstract. *Nanotechnology is transforming electrical engineering by enabling unprecedented levels of miniaturization, efficiency, and innovation. This cutting-edge technology leverages nanomaterials like graphene and carbon nanotubes to develop nanoscale transistors, which are smaller, faster, and more energy-efficient than traditional components. These advancements are critical for modern applications, including compact integrated circuits and high-performance computing. Practical applications of nanotechnology in electrical engineering extend to energy storage and sensing technologies. Nanostructured batteries and capacitors offer higher energy densities and shorter charge times, revolutionizing the energy landscape. Nanotechnology also lowers costs, produces stronger and lighter wind turbines, improves fuel efficiency and, thanks to the thermal insulation of some nanocomponents, can save energy.*

Keywords: *carbon nanotube, graphene, nanomaterials, quantum dots, solar cells.*

Introduction

Nanotechnology, which involves manipulating matter at the nanoscale (1–100 nm) [1], is a rapidly growing field with the potential to transform medicine, electronics, and energy. Advances in nanosensors, nanoscale transistors, and power systems, combined with interdisciplinary collaboration among physicists, chemists, materials scientists, and engineers, drive innovation [2]. In energy, nanomaterials like perovskites and quantum dots boost solar photovoltaic efficiency [3], while carbon nanotubes make wind turbine blades lighter and stronger. For non-renewable sources, nanotechnology improves fuel production efficiency and engine performance [4]. However, rapid development requires careful assessment of potential environmental and health risks.

Advancements in Nanotechnology for Electrical Engineering

The transistor has been called “the most important invention of the 20th century”. Transistors are everywhere; they are the basic building blocks of electronic systems. As transistor technology advanced, their dimensions were reduced from the micrometer (μm) to the nanometer (nm) scale, so that more and more of them could be included in electronic systems[6].. These transistors are designed to make electronic devices smaller, faster, more powerful, and more energy efficient. Ordinary transistors are used as the main components of electronic circuits for current control and signal processing. However, as conventional transistors get smaller, their performance decreases. This can adversely affect the performance and energy efficiency of devices. At this point, nanotransistors using nanotechnology and nanoscale materials come into play. Nanotransistors are nanometer-sized transistors made from nanoscale materials [11]. In the following table we can analyze the directions of use of nanotransistors Tab.1.

Table 1

Directions of use

Application Area	Description	Benefits
Computing & Processors	Used in modern CPUs and GPUs to enhance performance and reduce power consumption.	Higher processing speeds, energy efficiency, and miniaturization of devices.
Memory Storage	Enables high-density, low-power memory such as NAND flash and MRAM.	Faster data access, improved storage capacity, and lower power usage.
Medical Devices	Used in biosensors and lab-on-a-chip devices for disease detection and health monitoring.	High sensitivity, rapid diagnostics, and minimal invasiveness.
Flexible & Wearable Electronics	Enables ultra-thin, flexible displays and wearable health monitors.	Durability, lightweight design, and enhanced user experience.
Quantum Computing	Essential for developing ultra-fast quantum processors.	Exponentially increased computing power and security.

Nanomaterials have become essential in developing advanced electrical components due to their exceptional properties [2]. Carbon nanotubes (CNTs), cylindrical nanostructures of carbon atoms arranged in a hexagonal lattice Fig. 1 [2],[7], are among the most versatile nanomaterials. CNTs enable high-performance transistors operating at frequencies above 100 GHz and significantly improve thermal management in electronics. Their outstanding thermal conductivity, much higher than copper's, helps dissipate heat efficiently, preventing component failure and maintaining device reliability [8].

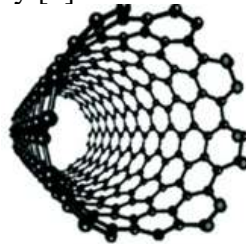


Figure 1. Carbon nanotube

Another type of material used often is graphene. Graphene-based nanotechnology is a field of study that focuses on the development and use of materials and devices based on graphene, a two-dimensional material composed of a single layer of carbon atoms arranged in a hexagonal lattice Fig.2 [8].

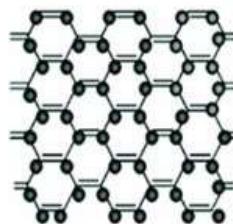


Figure 2. Graphene

Graphene-based devices, such as flexible electronics and transparent electrodes, exploit the exceptional properties of graphene to achieve unprecedented levels of performance and functionality. Moreover, graphene's compatibility with existing semiconductor fabrication processes facilitates its integration into conventional electronic devices, paving the way for scalable production and commercialization [2]. Studies have shown that graphene can achieve carrier mobilities exceeding $200,000 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, which is several orders of magnitude higher than silicon's best performance. This high mobility allows for faster electron transport, which is crucial for high-frequency applications and advanced electronic devices [7]. Furthermore, the

integration of graphene into transistors can lead to devices that are not only faster but also more energy-efficient. This characteristic is particularly important in the context of modern electronic devices, which require minimal power consumption while maintaining high performance. Graphene's ability to maintain stability under various conditions also enhances the longevity and reliability of electronic components.

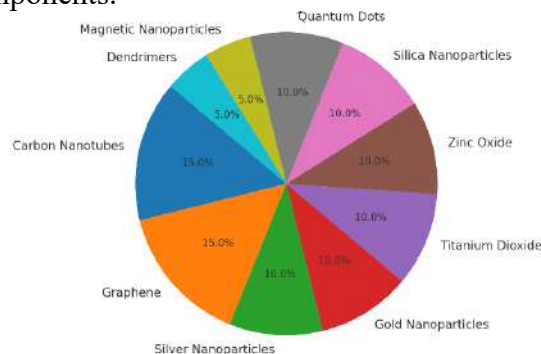


Figure 3. The most used types of nanomaterials

Nanotechnology's Role in Renewable and Non-Renewable Energy

Energy plays a key role in the socio-economic, technological and political development of any nation. In fact, it is widely accepted that there is a strong correlation between socioeconomic development and energy availability of a given nation. Nanotechnology has the potential to provide cleaner, more affordable, more efficient and more reliable ways to harness renewable energy resources and the nonrenewable ones Fig.4.

What role play Nanotechnology in Energy Production?

- Generating steam from sunlight.
- Generating hydrogen from sea water.
- Producing high efficiency light bulbs.
- Increasing the electricity generated by windmills.
- Storing hydrogen for fuel cell powered cars.
- Reducing power loss in electric transmission wires.
- Reducing the cost of solar cells.
- Improving the performance of batteries.
- Making the production of fuels from raw materials more efficient.

In solar energy, nanoparticles are used to create devices that concentrate sunlight to generate steam efficiently, ideal for water purification and powering plants in remote areas. Nanotechnology also reduces the cost of solar cells, making them more affordable and widely accessible [11].

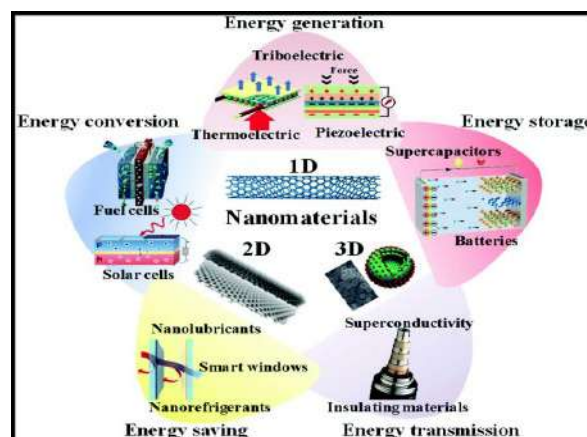


Figure 4. Different energy applications: energy generation, storage, conversion, and saving up on nanomaterials substances.

Solar cells are a valuable renewable energy source but remain costly compared to fossil fuels. Common solar cells have 15–20% efficiency, with a theoretical maximum of 30%. Adding nanomaterials like fullerenes, carbon nanotubes (CNTs), and quantum dots can boost efficiency, as quantum dots improve light absorption and conversion, increasing energy conversion efficiency by up to 42% [9]. Fossil fuels contribute to greenhouse gas emissions and global warming, prompting industrialized countries to seek cleaner energy sources like bioethanol and biodiesel. Nanoparticles enhance biofuel production by serving as nanocatalysts, which offer high activity, large surface area, and better conversion efficiency. Bioethanol, produced by fermenting carbohydrates, is a renewable and eco-friendly fuel [10].

Conclusion

Nanotechnology has revolutionized electrical engineering through miniaturization, boosting energy efficiency and enabling advanced functions in modern electronics. Nanomaterials like carbon nanotubes and graphene allow the creation of nanoscale transistors that are smaller, faster, and more energy-efficient than traditional components, benefiting high-performance, flexible electronics, and medical devices. In energy, nanostructured materials improve solar panel efficiency, with quantum dots and nanotubes increasing solar-to-electric conversion up to 42%. Nanotechnology also enhances wind turbines by enabling lighter, more efficient blades and optimizes fossil fuel extraction and combustion, reducing energy use and emissions. However, nanotechnology poses environmental and health concerns. Nanoparticles can enter biological systems, potentially causing organ damage or toxicity, and their accumulation in soil, water, and air may harm ecosystems. Further research is needed to understand and mitigate these risks.

Reference:

Articles in journals:

1. NASROLLAHZADEH M.; SAJADI S. M.; SAJJADI M.; ISSAABADI Z.; “An introduction to nanotechnology”. Interface science and technology 2019, vol. 28, pp. 1-27, DOI:10.1016/B978-0-12-813586-0.00001-8
2. MITTAL A.; Rawal N.; “Nanotechnology in Electrical Engineering”. MANTECH PUBLICATIONS 2024, pp 53-65.
3. RAMBARAN T.; SCHIRHAGL R.; “Nanotechnology from lab to industry—a look at current trends”. Nanoscale advances 2022, vol. 4, DOI:[10.1039/D2NA00439A](https://doi.org/10.1039/D2NA00439A).
4. ECHIEGU E. A.; „Nanotechnology as a Tool for Enhanced Renewable Energy Application in Developing Countries”. Journal of Fundamentals Renewable Energy and Applications 2016, vol. 6, DOI:[10.4172/2090-4541.1000e113](https://doi.org/10.4172/2090-4541.1000e113)
5. ALESGEROVNA K. E.; “MODERN NANO-TRANSISTORS”. Conference: SCIENTIFIC PRACTICE: MODERN AND CLASSICAL RESEARCH METHODS. Section XV 2023, DOI:[10.36074/logos-26.05.2023.043](https://doi.org/10.36074/logos-26.05.2023.043)
6. LUNDSTORM M.; Fundamentals of Nanotransistors. Lesson from Nanoscience: A Lecture Notes Series 2017, vol.6, DOI: [10.1142/9018](https://doi.org/10.1142/9018)
7. SALAUDEEN H. D.; Kolawole M.; “Nanomaterials in Electronics: Advancements and challenges in high-performance devices”. World Journal of Advanced Research and Reviews 2024. DOI:10.30574/wjarr.2024.24.1.3116
8. KHAN Md. Y. A.; ELME N.S.; AUTOR 3, H M TAHRIM; RAZA K.; “A Review on Nanotechnology and Its Impact with Challenges on Electrical Engineering” Control Systems and Optimization Letters 2024, vol. 2, DOI: 10.59247/csol.v2i1.78.
9. HUSSEIN H. S.; “The state of the art of nanomaterials and its applications in energy saving”. Bulletin of the National Research Centre 2023. [DOI:10.1186/s42269-023-00984-4](https://doi.org/10.1186/s42269-023-00984-4)

-
10. Hossein E.; NOURAFKAN E.; NAKISA M.; AHMED W.; Application of nanotechnology for biofuel production”. Emerging Nanotechnologies for Renewable Energy 2021, vol. 7, pp.149-172, DOI:10.1016/B978-0-12-821346-9.00005-5
Websites
 11. iberdola.com. Disponibil online: <https://www.iberdrola.com/innovation/nanotechnology-applications> (accessed on 2025-02-08)
 12. understandingnano.com. Disponibil online: <https://www.understandingnano.com/nanotechnology-energy.html> (accessed at 2025-02-08 11:29:49.)

STUDIUL CIRCUITELOR MAGNETICE ALE ELECTROMAGNEȚILOR

ROȘCA DENIS

Facultate de Energetică și Ingineriei Electrice, Universitatea Tehnică a Moldovei

Autor corespondent: Roșca Denis, denis.rosca@en.utm.md

Tutor/coordinator: **RACHIER VASILE**, dr. conf., FEIE, UTM

Rezumat. Electromagneții, ca aparate electrice au o aplicare diversă în domenii esențiale. Respectiv, cunoașterea comportamentului și aplicabilității unui electromagnet rămâne a fi o problemă actuală din cauza complexității fenomenelor de natură magnetică, măsurarea cărora e uneori impractică, și necesită un sistem de calcul al circuitelor magnetice echivalent și optim în aplicare. Acest obiectiv este atins prin metodologia de calcul a circuitelor electrice după echivalarea acestor două circuite de natură diferită, dar similară în proprietăți.

Cuvinte-cheie: flux magnetic, reluctanță, permeabilitate, întrefier, jug.

Introducere

Un electromagnet (EM) este un tip de magnet temporar care facilitează conversia energiei electrice în energie mecanică cu ajutorul energiei electromagnetice. Asemeni, Comisia Electrotehnică Internațională (CEI) propune definirea electromagnetului ca: „un magnet excitat de un curent”. Structura sa include trei sisteme principale: electric, magnetic și mecanic. Acesta este alcătuit dintr-o armătură fixă realizată din material feromagnetic, o bobină de excitație prin care trece curentul electric și o armătură mobilă, de asemenea feromagnetică.

Intensitatea magnetizării unui miez de oțel (materialul din care e confecționată armatura) este determinată de fluxul magnetic care îl traversează și poate fi estimată în funcție de greutatea maximă a sarcinii pe care electromagnetul o poate ridica. Aceasta depinde de mai mulți factori, printre care intensitatea curentului care circulă prin bobină, numărul de spire, temperatura bobinei, precum și de caracteristicile fizico-chimice ale sarcinii, inclusiv compoziția, forma, dimensiunile și temperatura acesteia.

Clasificarea electromagneților

Electromagneții pot fi clasificați după următoarele criterii [1]:

- În funcție de modul de operare
 - electromagneți destinați atracției;
 - electromagneți utilizați pentru reținere;
 - electromagneți care combină atât atracția, cât și reținerea.
- Conform tipului de curent folosit în înfășurarea de magnetizare:
 - electromagneți alimentați cu curent continuu;
 - electromagneți cu curent alternativ, care pot fi monofazați sau polifazați;
 - electromagneți polarizați.
- După modul în care este conectată înfășurarea:
 - electromagneți cu înfășurare legată în serie;
 - electromagneți cu înfășurare conectată în derivație.
- După viteza de acționare:
 - electromagneți cu acționare rapidă;
 - electromagneți cu viteză normală de funcționare;
 - electromagneți cu acționare întârziată sau temporizată.

Calculul circuitului magnetic

Calculul circuitelor electromagnetice este esențial pentru proiectarea, analiza și optimizarea dispozitivelor și sistemelor care utilizează câmpuri magnetice. Acesta contribuie la îmbunătățirea performanței dispozitivelor precum transformatoare, motoare, generatoare electrice, electromagneți și relee, permițând funcționarea acestora în condiții optime.

Calculul circuitelor magnetice, având geometria și proprietățile magnetice cunoscute, presupune determinarea solenației atunci când fluxul este dat (cazul problemei directe) sau stabilirea fluxului necesar pentru a obține o solenație de o anumită valoare (cazul problemei inverse).

Calculul acestor circuite se bazează pe legile fundamentale ale electromagnetismului și pe analogia cu circuitele electrice. Astfel, pentru calculul circuitului magnetic al unui electromagnet se pot folosi următoarele metode [2]:

- construirea circuitului magnetic echivalent;
- metoda transformărilor conforme;
- metode numerice.

Circuitul magnetic al unui electromagnet, fiind construit cu miezuri de fier, prezintă un comportament neliniar, deoarece permeabilitatea acestuia variază în funcție de punctul de funcționare și nu poate fi determinată cu precizie, nefiind un parametru fix al problemei. Chiar și în cazul electromagneților simpli, calculul câmpului magnetic atât în fier, cât și în întrefier este complex din cauza fluxurilor de dispersie, care generează o distribuție complicată a câmpului magnetic.

Pentru a simplifica analiza tehnică, se aplică anumite aproximări, cum ar fi: ignorarea lărgirii fluxului în întrefieruri, concentrarea fluxurilor de dispersie, precum și neglijarea căderilor de tensiune magnetică în fier în comparație cu cele din întrefier, mai ales atunci când întrefierul este mare. Determinarea exactă a permeabilității căilor de flux prin aer este extrem de dificilă din punct de vedere matematic, deoarece liniile de forță nu pot fi descrise prin traiectorii exprimate prin formule simple. Prin urmare, evaluarea permeabilităților se realizează utilizând tuburi de flux magnetic constant, metoda transformărilor conforme sau diverse tehnici numerice.

Analiza electromagnetului

Cu scopul de a studia și calcula circuitul magnetic a unui electromagnet avem nevoie de o ilustrare ce ne ar permite abordarea detaliată a comportamentului său.

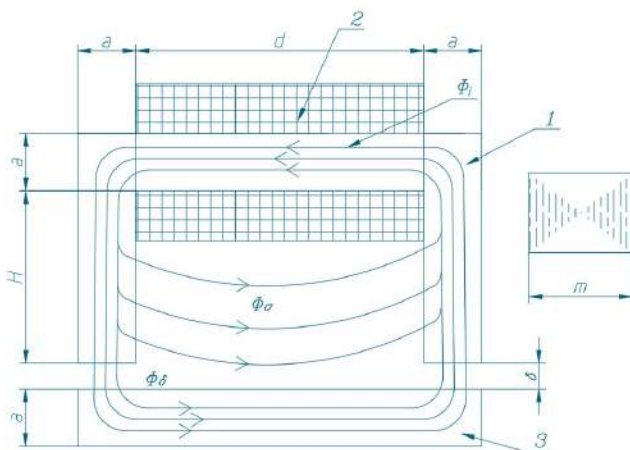


Figura 1. EM tip U-I cu mișcare de translație



Figura 2. EM studiat ilustrat în plan tridimensional

În figura alăturată este prezentat un EM tip U-I cu mișcare de translație: 1-armătura fixă, 2- înfășurările, 3- armătura mobilă. Pentru a demonstra calculul circuitului magnetic se va elabora schema echivalentă a circuitului magnetic, luându-se în considerație căderile de tensiune

magnetică și repartiția uniformă a forței magnetomotoare (FMM) pe coloane sau concentrată pe jug. Coloanele vor fi divizate în N porțiuni egale.

În cazul studiat $N = 2$, deci avem coloana electromagnetului împărțită în două părți egale, astfel și fluxurile magnetice ale intrefierului Φ_{δ} , iar bobina este fixată pe jug.

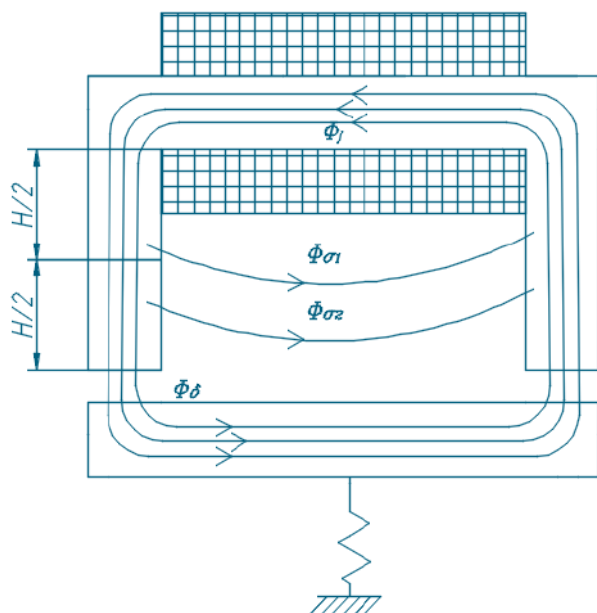


Figura 3. Schema EM cu coloana împărțită în 2 porțiuni egale

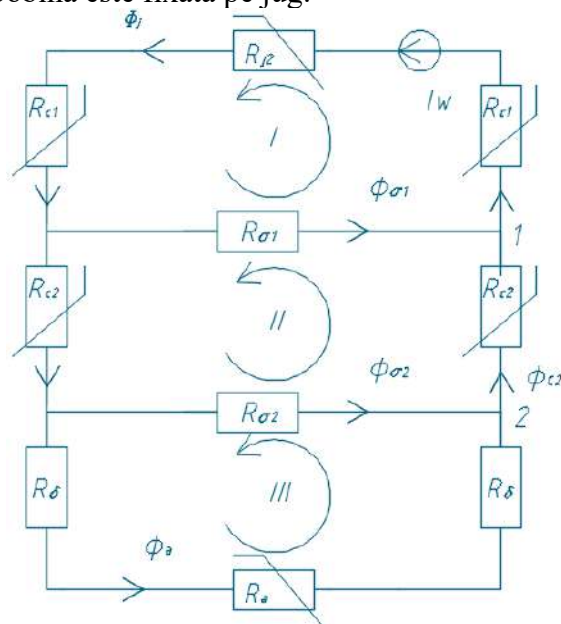


Figura 4. Schema echivalentă a circuitului magnetic

Pentru schemele prezentate avem simbolurile și însemnările caracteristice explicate mai jos, pe baza cărora vom forma întreg calculul.

unde:	$R_{\sigma 1}, R_{\sigma 2}$	reluctanțele porțiunilor din aer;
	R_{c1}, R_{c2}	reluctanțele porțiunilor din fier;
	R_{δ}	reluctanțele porțiunilor din aer din intrefier;
	R_a	reluctanta armaturii mobile;
	R_j	reluctanta jugului;
	$\Phi_{\sigma 1}, \Phi_{\sigma 2}$	fluxuri de dispersie;
	Φ_{δ}	flux magnetic al intrefierului;
	Φ_j	fluxurile magnetice al jugului;
	Φ_c	fluxul magnetic al coloanei.

Calculul reluctanțelor

Calculul circuitului poate fi realizat și printr-un concept nou, care reprezintă echivalentul, în termenii magnetici, al rezistenței electrice, și anume reluctanța magnetică a circuitului.

Formula generală de calcul al reluctanței este următoarea:

$$R_f = \frac{1}{\mu_i} \cdot \frac{l_i}{S_i} \quad (1)$$

unde:	l_i	lungimea;
	S_i	aria secțiunii transversale;
	μ_i	permiabilitatea magnetică a materialului.

Pentru calculul reluctanței jugului:

$$R_j = \frac{1}{\mu_j} \cdot \frac{(d + a)}{ma} \quad (2)$$

unde:	d	distanța dintre coloane;
	a	lățimea miezului;

m grosimea miezului
 μ_j permeabilitatea magnetică a jugului.

Pentru calculul reluctanței coloanelor:

$$R_{c1} = \frac{1}{\mu_{c1}} \cdot \frac{H/2}{ma} \quad R_{c2} = \frac{1}{\mu_{c2}} \cdot \frac{H/2}{ma} \quad (3)$$

unde: H lungimea miezului;
 a lățimea miezului;
 m grosimea miezului
 μ_{c1}, μ_{c2} permeabilitatea magnetică coloanei pe secțiune.

Pentru calculul reluctanței armăturii mobile:

$$R_a = \frac{1}{\mu_a} \cdot \frac{(d+a)}{ma} \quad (4)$$

unde: d distanța dintre coloane;
 a lățimea miezului;
 m grosimea miezului
 μ_a permeabilitatea magnetică a armăturii mobile.

Pentru calculul reluctanței porțiunii de aer în întrefier:

$$R_\delta = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{\delta}{ma} \quad (5)$$

unde: δ cursa electromagnetului;
 a lățimea miezului;
 m grosimea miezului
 μ_0 permeabilitatea magnetică a vidului.

Pentru calculul reluctanței porțiunii de aer între coloane:

$$R_\sigma = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{d}{ma} \quad (6)$$

unde: d distanța dintre coloane;
 a lățimea miezului;
 m grosimea miezului
 μ_0 permeabilitatea magnetică a vidului.

Pentru calculul permeanțelor fluxurilor de dispersie(aer):

$$\Lambda_\sigma = \frac{1}{R_\sigma} = \frac{\mu_0 \cdot m \cdot a}{d} \quad (7)$$

unde: d distanța dintre coloane;
 a lățimea miezului;
 m grosimea miezului
 μ_0 permeabilitatea magnetică a vidului.

Ecuatiile pentru calculul fluxurilor magnetice

Ecuatiile lui Kirchhoff pentru circuitele magnetice reprezintă echivalentele acestora din circuitele electrice și sunt utilizate pentru descrierea fluxurilor magnetice. Ele permit analiza circuitelor magnetice și se bazează pe două reguli esențiale.

Prima regulă, cunoscută ca legea nodurilor pentru fluxul magnetic și similară primei legi a lui Kirchhoff pentru curenți, afirmă că totalul fluxurilor magnetice care pătrund într-un nod, adică într-un punct de intersecție a mai multor ramuri magnetice, este egal cu totalul fluxurilor care ies din acel nod.

Conform legii I a lui Kirchhoff pentru două noduri:

$$\begin{cases} \Phi_{\sigma 1} + \Phi_{c2} - \Phi_j = 0 \\ \Phi_{\sigma 2} - \Phi_{c2} + \Phi_a = 0 \end{cases} \quad (8)$$

Legea tensiunilor magnetice, echivalentă cu a doua lege a lui Kirchhoff pentru tensiuni, stabilește că într-un circuit magnetic închis, totalul forțelor magnetomotoare este egal cu suma valorilor obținute prin înmulțirea reluctanțelor fiecărei ramuri cu fluxurile magnetice corespunzătoare.

Conform legii II a lui Kirchhoff pentru două contururi:

$$\begin{cases} \Phi_{\sigma 1} \cdot R_{\sigma 1} + \Phi_0 \cdot (2R_{c1} + R_j) = IW \\ -\Phi_{\sigma 1} \cdot R_{\sigma 1} + \Phi_{c2} \cdot 2R_{c2} + \Phi_{\sigma 2} \cdot R_{\sigma 2} = 0 \\ -\Phi_{\sigma 2} \cdot R_{\sigma 2} + \Phi_{\delta} \cdot 2R_{\delta} + \Phi_{\delta} \cdot R_a = 0 \end{cases} \quad (9)$$

Domenii de utilizare

Electromagneții au o gamă largă de aplicații. Aceștia sunt utilizați în „construcția releelor de protecție și la instrumentele de măsurat, la automatizări, telecomenzi, acționarea aparatelor electrice, la frânele electromagnetice, extracțiile de materiale magnetice, la cuplajele electromagnetice, la fixarea pieselor de prelucrat pentru mașinile unelte, precum și la ridicarea greutăților în instalațiile de ridicat și transportat.” [1].

Ele sunt componente ale mașinilor electrice utilizate în fabrici, ale diverselor dispozitive de automatizare industrială și sunt aplicate în numeroase ansambluri electrotehnice și de laborator, precum și în echipamente medicale. Electromagneții de dimensiuni gigantice sunt folosiți în sincrofazotroane pentru accelerarea particulelor elementare.

Concluzie

Calculul circuitului magnetic este un proces complex, influențat de multiple variabile și de distribuția neuniformă a fluxului magnetic. Spre deosebire de circuitele electrice, unde relațiile dintre curenți și tensiuni sunt mai bine definite, analiza circuitelor magnetice implică factori precum reluctanța variabilă și pierderile prin dispersie, ceea ce duce la o exactitate redusă a rezultatelor, care apar mai degrabă în metodele analitice simplificate, unde se neglijează anumite efecte, cum ar fi fluxurile de dispersie sau saturația miezului.

Pentru a înțelege mai bine comportamentul unui circuit magnetic, este esențială elaborarea unei scheme echivalente care să permită calculul fluxurilor magnetice, luând în considerare repartizarea neuniformă a forței magnetomotoare (FMM) pe coloane. În analiza de față, coloanele au fost împărțite în două părți egale, însă pentru o reprezentare mai precisă a fenomenului este necesar un număr mai mare de divizări. Acest lucru este important deoarece fluxurile de dispersie din circuit nu se distribuie uniform – pe măsură ce ne deplasăm de la jug în jos pe coloana circuitului magnetic, fluxul de dispersie se modifică. Această variație trebuie luată în calcul pentru a obține un model cât mai fidel realității, aspect esențial în proiectarea și optimizarea dispozitivelor electromagnetice, precum transformatoarele și motoarele electrice.

Bibliografie:

Cărți sau capitole:

1. RACHIER V., Echipamente electrice. Aparat electrice : Indicații metodice privind efectuarea lucrărilor de laborator Editura: Tehnica, Chișinău, 2018, 132 p.
2. HORTOPAN Gh., Aparat electrice de comutație. Volumul I: Principii., ediția 5; Editura: Tehnica, București, 1993, 420 p., ISBN 973-31-0479-5.
3. HORTOPAN Gh., Aparat electrice de comutație. Volumul II: Aplicații., ediția 5; Editura: Tehnica, București, 1996, 444 p., ISBN 973-31-0528-7.
4. SUCIU I., Electromagneți. Ed. Tehnică. București – 1994. – 280 p., ISBN 973-31-0277-6

HYDROGEN AS A CLEAN ENERGY CARRIER: STRATEGIC ROLE AND TECHNOLOGICAL POTENTIAL IN THE GLOBAL ENERGY TRANSITION

Alexandru STRATULAT

Dep. of Energetics, Engineering and Management in Energetics, FEIE, TUM, Chisinau, Moldova

Corresponding author: Alexandru Stratulat, alexandru.stratulat@en.utm.md

Coordinator: **Ala JECHIU**, university assistant, Department of Foreign Languages, UTM

Abstract. *The transition to a low-carbon energy system needs scalable, sustainable solutions. Hydrogen is a key clean energy carrier, producible from renewable and nonrenewable sources, making it important for decarbonization and energy security. This paper examines hydrogen's role in EU and Moldovan strategies, recent advances in green hydrogen, and post-2020 pilot projects in Eastern Europe, identifying barriers and proposing regional integration measures.*

Keywords: *clean energy, decarbonization, green hydrogen, hydrogen economy, policy integration, renewable strategy.*

Introduction

Hydrogen is a key player in the clean energy transition, serving as both an energy storage medium and a decarbonization solution for hard-to-electrify sectors.

Production Technologies and Current Status

Primarily hydrogen is produced from fossil fuels via methods like steam methane reforming and coal gasification, where natural gas is the dominant feedstock. Production of hydrogen can be achieved via various process technologies, like: thermal, electrolytic, photolytic.

As to the electrolysis technologies, the foundation of clean hydrogen production lies in electrolysis technologies that split water into hydrogen and oxygen using electricity [1]. This technology is critical for producing low-emissions hydrogen from renewable or nuclear electricity [2]. Currently, four main electrolyzer technologies compete in the market, all of them have important advantages:

5. AWE (Alkaline Water Electrolysis) represents the most mature technology, operating at relatively low temperatures with demonstrated track of reliability and lower capital costs. These systems typically achieve electrical efficiencies of 60-70% and for decades they were used for commercial applications.
6. PEM (Proton Exchange Membrane) electrolyzers offer superior flexibility and faster response times, making them particularly suitable for integration with variable renewable energy sources. PEM systems have reached approximately 77% electrical system efficiency [3].
7. SOEC (Solid Oxide Electrolysis Cells) operate at elevated temperatures using ceramic electrolytes and represent the most efficient electrolysis technology. SOEC systems have achieved higher electrical efficiency, with 84% achieved by Sunfire on a low heating value basis [4]. Advanced SOEC technology offers between 20%-30% higher efficiency in green hydrogen production [5].
8. AEM (Anion Exchange Membrane) electrolyzers represent an emerging technology that combines benefits of alkaline and PEM systems, but they are still in the incipient stages of development.

As to the production capacity, we are witnessing doubling of global electrolyzer production capacity to 25 GW per year [6], which demonstrates rapid industrial growth. Nevertheless, the global objective of sustainability is far from our reach, as the hydrogen demand in 2023 was more than 97 Mt [7], with the significant proportion of this being produced from fossil fuels, resulting in CO₂ emissions and highlighting the large scale of transition required. Currently, oil refining and chemical industry are the main consumers of hydrogen [8], which once again demonstrates the need for transition to clean production methods.

Industrial Applications and Decarbonization Potential

The steel sector represents one of the most promising applications for hydrogen in industrial decarbonization. Steel production currently accounts for 8% of total global CO₂ emissions [9], with emissions needing to decrease for the industry to achieve net-zero by 2050.

Hydrogen-based direct-reduced ironmaking (DRI) combined with electric arc furnaces (EAF) represents the most viable strategy for reducing emissions in the steel sector [10]. Recent scientific research shows that plasma and electrolysis-based iron and steelmaking have CO₂ reduction potential of over 95% [11], though these technologies are in preliminary development stages. Industry experts believe green hydrogen could be abundantly available for steel production from 2035 onwards [12].

Beyond steel, water electrolysis is key to decarbonizing hard-to-abate industries such as fertilizers and steel [13], where direct electrification faces technical or economic barriers. Decarbonization of the steel sector will necessitate additional gigawatt-scale green hydrogen projects [14], noting that green hydrogen is still in early development stages requiring increased investment.

Transportation, Storage and Economic Considerations

Innovative solutions are required for efficient distribution of hydrogen due to its low volumetric energy density. The cost of shipping hydrogen as liquid hydrogen (LH₂), ammonia, or liquid organic hydrogen carriers (LOHC) is projected at \$16-31/GJ by 2030 [15], considerably more than the current \$3-7/GJ range for natural gas liquefaction, shipping, and regasification.

Ammonia as a hydrogen carrier [16] emerges as a particularly promising solution. Liquid ammonia could be the answer to hydrogen transportation challenges, offering advantages in utilizing existing infrastructure with modifications. "Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHC)" represent another innovative approach. The use of liquid organic hydrogen carriers is an alternative to transporting hydrogen without the need for pipeline infrastructure or hydrogen liquefaction [17]. Demonstration projects are underway, including at Immingham terminal in the UK, which has secured more than half a million pounds in grant funding [18].

Planned underground hydrogen storage capacities of 10 TWh by 2035 and 40 TWh by 2050 fall far short of the requirements of the Net Zero Emissions Scenario, in which more than 230 TWh is required by 2035 [19]. To construct the relevant transport infrastructure, an estimated spending of USD 200 billion is required by 2030 [20].

The IEA provides specific data on indicative production costs for hydrogen via electrolysis in different regions and levelized costs by technology for 2019 and 2050 projections [21], but costs remain significantly higher than conventional hydrogen production. The U.S. Department of Energy provides detailed analysis of clean hydrogen production costs for PEM electrolyzers [22], indicating ongoing efforts to achieve cost competitiveness.

Strategic Role in Energy System Integration

In terms of grid balancing and storage, hydrogen's capacity for long-term energy storage without degradation makes it ideal for seasonal energy balancing in renewable-heavy electricity systems. Unlike batteries, hydrogen can store energy for months without losses, providing critical grid stability services as renewable penetration increases.

IRENA's World Energy Transitions Outlook 2024, positions hydrogen alongside electrification as a key transition driver [22], reflecting broad international consensus on hydrogen's strategic importance. Joint IRENA-WTO reports on international trade and green hydrogen, indicate increasing interest in regulating global hydrogen trade. As to the technology development trajectory, the green hydrogen economy is on the rise, requiring establishment of global supply routes, with several technological options being considered. [23]

Conclusion

Hydrogen's potential extends beyond fuel replacement, driving industrial decarbonization, energy storage, and system integration essential for the 2030 Sustainable Development Goals. While technical and economic barriers remain, advances in electrolyzer technology, falling renewable energy costs, and supportive policies are accelerating its deployment. Success requires coordinated investments across the value chain and strong international cooperation. Current applications in steel production and emerging uses such as ammonia and LOHC highlight its potential. About \$200 billion in infrastructure investment is needed by 2030, positioning hydrogen to supply up to 20% of global energy by 2050, driven by innovation, collaboration, and robust policies.

In conclusion, hydrogen is not just a clean fuel – it's a system enabler. With continued investment and strategic action, hydrogen can play a leading role in our sustainable energy future.

Bibliography:

Websites:

1. IEA Global Hydrogen Review 2024 - Electrolysis Technologies: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/89c1e382-dc59-46ca-aa47-9f7d41531ab5/GlobalHydrogenReview2024.pdf>
2. IEA Global Hydrogen Review 2024 - Electrolyzer Capacity Growth: <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2024/hydrogen-production>
3. Topsoe/Industry Reports - PEM Electrolyzer Efficiency Data: <https://www.topsoe.com/blog/breakthrough-in-green-hydrogen-topsoes-soec-demo-reveals-strong-results>
4. Sunfire Technical Specifications - SOEC Efficiency Achievement: https://backend.sunfire.de/wp-content/uploads/2024/10/Sunfire_Fact-Sheet_SOEC_EN_digital.pdf
5. Industry Analysis - Advanced SOEC Technology Efficiency Gains: <https://www.industryarc.com/PressRelease/4150/solid-oxide-electrolysis-cell-market>
6. IEA 2024 Data - Global Electrolyzer Manufacturing Capacity <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/announced-electrolyser-manufacturing-capacity-by-region-and-manufacturing-capacity-needed-in-the-net-zero-scenario-2021-2030>
7. IEA 2024 Data - Global Hydrogen Demand Statistics https://www.reportlinker.com/market-report/Refined-Products/6828/Hydrogen?term=hydrogen%20industry&matchtype=p&loc_interest=21109&loc_physical=9195854&utm_group=standard&utm_term=hydrogen%20industry&utm_campaign=ppc&utm_source=google_ads&utm_medium=paid_ads&utm_content=transactionnel-1&gad_source=1&gad_campaignid=15072746546&gbraid=0AAAAAD19yGfiMBugJ8w0fMVHGCgzNrmc6&gclid=Cj0KCQjw8KrFBhDUARIsAMvIApbsBgIEjPIDu7tWLBGz90AnaYBuu0AeKE-2azVL-QoYmkEKzzzKP0aAlxJEALw_wcB
8. IEA Global Hydrogen Review 2024 - Current Hydrogen Applications <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2024/hydrogen-demand>
9. Industry Analysis - Steel Sector CO2 Emissions https://cee.eu/what-we-do/carbonatation/?utm_term=industry%20decarbonisation&utm_campaign=M%26M+-Carbonatation&utm_source=google&utm_medium=cpc&hsa_acc=9383401282&hsa_cam=22329766523&hsa_grp=175805820226&hsa_ad=738167586678&hsa_src=g&hsa_tgt=kwd-

[2007241490610&hsa_kw=industry%20decarbonisation&hsa_mt=p&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&gad_source=1&gad_campaignid=22329766523&gbraid=0AAAAA92p3kCW_V_L5h3yFE4RW_jA53q6q&gclid=Cj0KCQjw8KrFBhDUARIsAMvIAPZdSD2W0Fm8oh5TNJpze8bPsBBD](https://www.hitachienergy.com/markets/industries/hydrogen/power-to-hydrogen-solutions)
[SLpasEGbYCUpxTgJmy7NmyxXYVUaAknsEALw_wcB](https://www.hitachienergy.com/markets/industries/hydrogen/power-to-hydrogen-solutions)

10. Hitachi Energy - Steel Sector Hydrogen Applications
<https://www.hitachienergy.com/markets/industries/hydrogen/power-to-hydrogen-solutions>
11. ScienceDirect Research - Steel Production Decarbonization Potential
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544223024519>
12. Global Hydrogen Review 2024 <https://iea.blob.core.windows.net/assets/89c1e382-dc59-46caa47-9f7d41531ab5/GlobalHydrogenReview2024.pdf>
13. Industry Analysis - Hard-to-Abate Sectors Decarbonization https://www.danfoss.com/en/about-danfoss/our-businesses/climate-solutions/decarbonization-partner/?utm_source=Google&utm_medium=search_paid&utm_campaign=Decarbonization_Generic_cid_7399153&gad_source=1&gad_campaignid=22444890179&gbraid=0AAAAADzHGXF_WgyZag2RMRMRvREZzoLk1K&gclid=Cj0KCQjw8KrFBhDUARIsAMvIAPbJlyFoBdJgtF06xnJ_Idly9sC_AqHnT1Zgx49SoQZVjWXSJnmSdWUaAgGZEALw_wcB
14. IEEFA Report - Steel Sector Green Hydrogen Requirements
<https://solarquarter.com/2023/09/15/ieefa-report-unlocking-decarbonization-with-a-green-steel-taxonomy-in-indias-steel-sector/>
15. IEA Projections – Future of Hydrogen <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>
16. Industry Analysis - Ammonia as Hydrogen Carrier <https://www.topsoe.com/ammonia-cracking>
17. Technical Literature - LOHC Technology <https://www.unicore.com/en/media/newsroom/lohc-technology/>
18. Industry Reports - Immingham Terminal Project
<https://www.nelincs.gov.uk/assets/uploads/2023/06/4.-Local-Impact-ReportPDF-153KBicon-namepaperclip-prefixfa.pdf>
19. IEA Net Zero Scenario - Underground Hydrogen Storage Requirements
<https://www.iea.org/energy-system/low-emission-fuels/hydrogen>
20. IEA Analysis - Transport Infrastructure Investment Requirements
<https://www.iea.org/reports/global-land-transport-infrastructure-requirements>
21. IEA Reports - Hydrogen Production Cost Analysis <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2024/executive-summary>
22. US DOE Hydrogen Program - PEM Electrolyzer Cost Analysis
<https://www.hydrogen.energy.gov/docs/hydrogenprogramlibraries/pdfs/24005-clean-hydrogen-production-cost-pem-electrolyzer.pdf>
23. IRENA-WTO Joint Reports - International Hydrogen Trade
https://www.wto.org/english/res_e/publications_e/hydrogenirena112024_e.htm

TRANSFORMAREA SECTORULUI ENERGETIC: ANALIZA POLITICILOR ȘI REGLEMENTĂRIILOR ÎN DOMENIUL ENERGIIILOR REGENERABILE ÎN REPUBLICA MOLDOVA ȘI UNIUNEA EUROPEANĂ

NEGRU Vasile

Dep. Energetică, gr. EE-231, FEIE, UTM, Chișinău, R. Moldova

Autorul corespondent: Vasile Negru, e-mail: vasile.negru@en.utm.md,

Coordonator științific: **Corina DIACOV** asist. univ., FEIE, UTM, Chișinău, R. Moldova

Rezumat. Acest studiu analizează comparativ cadrul politic și legislativ privind sursele regenerabile de energie (SRE) în Uniunea Europeană (UE) și Republica Moldova (RM), în contextul tranziției către un sistem energetic sustenabil. Scopul cercetării este de a evidenția diferențele, asemănările și interdependențele dintre cele două entități, având în vedere obiectivele climatice comune, dar condiții economice și instituționale distincte. Metodologia utilizată constă într-o analiză documentară a legislației și strategiilor naționale și europene, corelată cu o examinare a instrumentelor de sprijin și a nivelului de implementare. Rezultatele arată că UE dispune de un cadru legislativ coerent, ținte ambițioase (minim 42,5% SRE până în 2030), sprijin financiar substanțial și infrastructură avansată, în timp ce RM urmărește alinierea treptată la standardele europene, având ca obiectiv 30% SRE până în 2030, dar se confruntă cu provocări precum infrastructura insuficientă și dependența de importuri. Concluzia principală este că, deși

Cuvinte cheie: sursele regenerabile de energie, cadrul politic, colaborarea internațională, strategiile naționale și europene.

Introducere

Tranziția globală către sursele de energie regenerabilă joacă un rol esențial în combaterea schimbărilor climatice și în reducerea emisiilor de carbon. Uniunea Europeană și Republica Moldova au înregistrat progrese importante în promovarea soluțiilor energetice durabile. Totuși, ritmul și modul de implementare a acestor politici variază considerabil între cele două regiuni: în timp ce UE beneficiază de un cadru legislativ bine structurat și de un sector energetic stabil, Republica Moldova se află încă într-un proces de dezvoltare și adaptare.

În articol sunt analizate politicile și reglementările privind energia regenerabilă în Uniunea Europeană și în Republica Moldova, completată de studii de caz relevante din ambele regiuni. [2]

Politicele Uniunii Europene și Republicii Moldova în domeniul energiilor regenerabile

Pactul Verde European, a fost lansat în 2019 și reprezintă strategia-cheie a Uniunii Europene pentru tranziția către o economie sustenabilă și neutră din punct de vedere al emisiilor de carbon până în anul 2050. Această inițiativă este ambițioasă și are ca scop decuplarea creșterii economice de utilizarea resurselor naturale și reducerea treptată a impactului negativ asupra mediului. Ca obiectiv intermediar, până în 2030, Uniunea Europeană urmărește ca cel puțin 32% din consumul total de energie să provină din surse regenerabile, cu accent pe eficiența energetică, modernizarea infrastructurii energetice și sprijinirea inovațiilor tehnologice verzi. Aceste măsuri sunt susținute de legislație specifică, finanțare europeană și mecanisme de monitorizare menite să asigure implementarea coerentă în toate statele membre.[1,6]

Statistici cheie (2020):

- 38% din energia UE provine din surse regenerabile.
- Germania: 46% din energia electrică provine din surse regenerabile.
- În 2020, UE a generat aproximativ 1.200 TWh din surse regenerabile (eoliană, solară, hidro, biomasă), iar energia eoliană a contribuit cu aproape 500 TWh.

1. Studiu de caz – Germania: „Energiewende” [4]

Energiewende, inițiativa de tranziție energetică a Germaniei, este considerată un model de referință la nivel global pentru integrarea pe scară largă a energiilor regenerabile. Această strategie națională vizează reducerea emisiilor de carbon, eliminarea treptată a energiei nucleare și înlocuirea combustibililor fosili cu surse durabile. În 2019, Germania a generat aproximativ 46% din energia electrică din surse regenerabile, precum energia eoliană, solară și biomasă. Proiectul este susținut prin politici ferme, stimulente financiare, demonstrând că o tranziție energetică amplă este posibilă într-o economie avansată.

Detalii:

- Investiții totale: Peste 500 miliarde EUR în ultimele decenii.
- Putere instalată (2020):
- Eoliană: Aproape 60 GW (10% din energia națională).
- Solară: Aproape 50 GW (8% din energia națională).

Calcul producție anuală:

- Energie eoliană: Dacă fiecare MW de putere eoliană produce, în medie, 2.000 MWh pe an, atunci Germania produce 120.000 GWh anual din energia eoliană (60 GW x 2.000 MWh).
- Energie solară: Dacă fiecare MW de putere solară produce, în medie, 1.000 MWh pe an, atunci Germania produce 50.000 GWh anual din energia solară (50 GW x 1.000 MWh).

Reducerea emisiilor de CO₂:

- Se estimează că pentru fiecare MWh de energie produs din surse regenerabile, se economisesc aproximativ 0.5 tone de CO₂.
- Dacă 50% din energia electrică a Germaniei provine din surse regenerabile, economiile anuale de CO₂ se ridică la 60 milioane tone de CO₂ pe an.

2. Studiu de caz-Spania, Andasol „Energie solară termică cu stocare pe termen lung” [3]

Situată în regiunea Andaluzia din Spania, stația solară termică Andasol este alcătuită din trei centrale și reprezintă prima instalație din Europa care folosește tehnologia oglinzilor parabolice împreună cu un sistem de stocare a energiei în săruri topite. Datorită acestei tehnologii, centrala poate furniza electricitate chiar și în perioadele fără soare.

Detalii:

- Capacitatea totală instalată este de 150 MW.
- Capacitate de stocare de 1.123 MWh.
- Alimentează 200.000 case.
- Suprafața de 575ha.
- Costul aproximativ 900 mil. euro.

3. Studiu de caz – Parcul Eolian Vulcănești.

Parcul eolian din Vulcănești, din sudul Moldovei, este primul proiect eolian de amploare din țară. Este un parc cu 60 turbine eoliene cu o capacitate totală de 120 MW. Parcul a fost dat în exploatare la finele anului 2016. Acest parc eolian estimativ va genera circa 450-500 GWh/an ceea ce reprezintă până la 13% din consumul anual de energie electrică din țară.

- 60 de turbine eoliene.
- Capacitate totală planificată 120 MW (cu posibilă extindere la 350 MW).
- Producție anuală estimată 450–500 GWh.
- Contribuție estimată la consumul național 10–13%.
- Necesită linii de tensiune înaltă.

4. Studiu de caz – Parcul Fotovoltaic Radeni, Strașeni și Parcul Fotovoltaic Negureni, Telenești. [7]

Aceste două parcuri sunt un proiect semnificativ pentru Republica Moldova. Se preconizează ca până la finele anului 2025 aceste două parcuri să fie conectate la rețeaua națională. Acest fapt va contribui semnificativ la creșterea puterii de producere a energiei electrice. Capacitatea totală a acestor două parcuri fotovoltaice va fi de 90 MW. Centrala fotovoltaică de la Rădeni va avea o putere de 50 MW și cea de la Negureni respectiv 40 MW. Ambele centrale vor deveni funcționale. Se estimează o producere anuală de peste 100 GWh/an. [7]

- Centrala fotovoltaică din Rădeni, raionul Strașeni - Capacitate instalată: 50 MW.
- Centrala fotovoltaică din Negureni, raionul Telenești - Capacitate instalată: 40 MW.
- Producție anuală estimată: Aproximativ 100 GWh/an.

Conform datelor furnizate de CNED, la sfârșitul anului 2024 capacitățile instalate ale centralelor electrice regenerabile au atins aproape 580 MW, ceea ce reprezintă o creștere de 3 ori mai mare față de anul 2022. Statistica arată că, R. Moldova în anul 2024, a generat 691 000 MWh de energie electrică din surse regenerabile, ceea ce reprezintă aproximativ 16 % din consumul anual de energie electrică. [7,8]

Tabelul 1

Compararea abordărilor: UE vs. Moldova

Indicator	Uniunea Europeană	Republica Moldova
Obiectiv principal	Neutralitate climatică (2050)	20% energie regenerabilă (2030)
Legislație	RED, Pactul Verde	Legea 10/2016, Strategii Energetică
Finanțare	Fonduri UE, Horizonte, Bănci	UE, BERD, SE4All
Proiecte majore	Eolian offshore, solar industrial	Vulcănești(eolian), Strașeni(solar)
Provocări	Integrare surselor variabile	Infrastructură slabă, dependență externă

Moldova se confruntă cu provocări economice și sociale semnificative în implementarea tranziției energetice:

- Dependența de importuri de energie: Moldova este foarte dependentă de importurile de energie din Rusia și Ucraina, iar acest lucru face ca tranziția către surse regenerabile să fie o provocare.
- Instabilitatea financiară: Datorită unei economii fragile, Moldova întâmpină dificultăți în atragerea investițiilor masive necesare pentru dezvoltarea infrastructurii energetice regenerabile.
- Provocări sociale: Transparența și educația publică sunt esențiale pentru succesul tranziției energetice. În prezent, există o lipsă de conștientizare în rândul populației și al autorităților despre beneficiile energiilor regenerabile.

Soluții propuse:

- Crearea unui cadru de investiții favorabil și implementarea măsurilor fiscale stimulative pentru a atrage capital privat.
- Dezvoltarea unui program educațional național pentru a încuraja acceptarea energiilor regenerabile de către populație și pentru a forma o cultură a economisirii energiei. [5]

Concluzii

Tranziția către surse de energie regenerabilă este esențială pentru reducerea emisiilor de CO₂ și pentru construirea unei economii durabile. Uniunea Europeană a demonstrat că această transformare este realizabilă prin politici coerente, investiții strategice și sprijin guvernamental constant, așa cum arată exemplele din Germania (Energiewende), Danemarca (parcurile eoliene) și Suedia (proiectele solare).[4] Aceste modele de succes pot fi adaptate cu succes și în Republica Moldova, care dispune de un potențial semnificativ în domeniul energiei solare și

coliene. Pentru a accelera această tranziție, Moldova trebuie să adopte politici energetice clare, să modernizeze infrastructura și să încurajeze investițiile interne și externe.

Proiectele pilot de succes, precum cele din Vulcănești și Strășeni, demonstrează că Republica Moldova este capabilă să atragă finanțări internaționale și să implementeze inițiative inovatoare. Prin valorificarea lecțiilor învățate din experiența statelor membre ale UE, Moldova are șansa de a deveni un lider regional în sectorul energiei regenerabile.

Surse bibliografice:

Site-uri web:

1. Directiva 2009/28/CE privind promovarea utilizării energiei din surse regenerabile, adaptată prin Legea nr. 10/2016. Disponibil: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/?uri=celex:32009L0028>
2. Legea nr. 10 din 26.02.2016 privind promovarea utilizării energiei din surse regenerabile. Disponibil: https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=106068&lang=ro
3. The Andasol Solar Power Station Project. Power Technology, Spain Disponibil: <https://www.power-technology.com/projects/andasolsolarpower/?cf-view>
4. "Denmark is showing the world what is possible": how the North Sea became the 'green power plant of Europe' The Guardian. Disponibil: <https://www.theguardian.com/delivering-the-energy-transition/2025/feb/04/denmark-showing-world-possible-north-sea-green-power-plant-europe>

Lucrările conferințelor:

5. GUȚU-CHETRUȘCA C., BRAGA D.. Integration of variable energy sources in energy systems. In vol. Xxix,utm, no. 2 (2022), p. 54 - 61 , Journal of engineering science. Categoria b+ , issn 2587-3474, eissn 2587-3482, udc 620.92:621.31, [https://doi.org/10.52326/jes.utm.2022.29\(2\).05](https://doi.org/10.52326/jes.utm.2022.29(2).05)
6. GUȚU-CHETRUȘCA, C.; BRAGA, D. Energy Crises—Energy Transition Driving Force. In Proceedings of the 2023 International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN), Craiova, Romania, 11–13 October 2023; pp. 1–6. DOI: 10.1109/SIELMEN59038.2023.10290742
7. ROTARI I., DIACOV C. *Analiza consumului energetic al Republicii Moldova în anul 2022* – articol prezentat la Conferința Tehnico- Științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor al U.T.M. Chișinău, 2024.

Teze:

8. DIACOV C., Teza de master cu tema "Integrarea surselor regenerabile și de stocare a energiei într-o microneț." UTM, 2025

DETERMINAREA PUNCTELOR DE STABILITATE ȘI INSTABILITATE A ARCULUI ELECTRIC DE CURENT CONTINUU

Ana-Maria TVERDOHLEB¹*, Adrian CATERENCIUC¹*

¹Inginerie Electrică, gr.ISER-231, FEIE, UTM, Chișinău, Republica Moldova

*Autorul corespondent: Ana-Maria Tverdohleb, ana-maria.tverdohleb@ie.utm.md
Adrian Caterenciuc, adrian.caterenciuc@ie.utm.md

Îndrumătorul/coordonatorul științific Vasile RACHIER, Dr., conf. univ. FEIE, UTM

Rezumat. Arcul electric de curent continuu este un fenomen multilateral ce poate fi observat în sudare, tăiere cu arc, diferite întrerupătoare sau la comutatoare de înaltă tensiune. Diferite aplicații folosesc acest fenomen electric, însă stabilitatea arcului este cea care dictează cum se vor desfășura procesele tehnologice. Calculând punctele de stabilitate și instabilitate a arcului de curent continuu, realizăm o optimizare a proceselor bazate pe arc electric, prevenim defecțiunile și îmbunătățim eficiența energetică a echipamentelor electrice. În această lucrare au fost calculate punctele de ardere stabilă și instabilă a arcului de curent continuu prin care sa determinat ca la tensiuni mici și curenți mari arcul va arde stabil iar la tensiuni mari și curenți mici arcul tinde să se stingă. Un arc ce arde stabil permite menținerea unei temperaturi constante și a unei descărcări supravegheate, ceea ce este fundamental în aplicații precum sudura și tăierea cu plasmă, unde precizia este crucială. Pe de altă parte, un arc ce arde instabil poate duce la decalaje de temperatură, defecte în materialele confecționate și chiar la deteriorarea echipamentelor electrice.

Cuvinte cheie: arc electric, punct de stabilitate, punct de instabilitate, curent continuu, echipamente electrice, caracteristici statice și dinamice.

Introducere

Arcul electric de curent continuu reprezintă o descărcare electrică susținută, vizibilă sub forma unei lumini intense, care se produce între doi electrozi, 2 contacte sau borne cu potențial diferit, în prezența unui mediu ionizat (de obicei aer). În cazul curentului continuu, tensiunea și intensitatea sunt constante iar arcul se menține datorită ionizării persistente a gazului dintre electrozi [1].

Analiza stabilității arcului electric se prevede pe studiul caracteristicii sale statice, reprezentată prin relația dintre tensiune și curent. În anumite condiții, curba caracteristică a arcului poate avea o pantă negativă, ceea ce indică tendința acestuia de a deveni instabil. De asemenea, interacțiunea dintre caracteristica arcului și caracteristica circuitului de alimentare determină punctele de echilibru, care pot fi stabile sau instabile în funcție de poziția lor pe grafic. Identificarea acestor puncte este esențială pentru prevenirea fenomenelor indezirabile și pentru îmbunătățirea proceselor tehnologice care implică utilizarea arcului electric.

Rezultatele lucrării vor fi utile pentru a spori eficiența, siguranța și calitatea proceselor în care este utilizat arc electric.

1. Apariția arcului electric și efectele sale negative

Arcul electric apare în diferite împrejurări, atât intenționat (în aplicații industriale), cât și accidental (în instalații electrice defecte), cum ar fi în instalațiile electrice defecte, în echipamente de comutare (întrerupătoare, contactori), în procesele industriale (sudură, cuptoare cu arc electric), în rețelele de transport și distribuție a energiei electrice [2]. Efectele sale negative încorporează uzura echipamentelor, riscul de incendii, electrocutare și pierderi de

energie. De aceea, este importantă monitorizarea și controlul său pentru a preveni accidentele. În Tab.1.1, sunt reprezentate situațiile în care arcul electric își face apariția și efectele sale negative asupra factorilor atât interni, cât și externi.

Tabelul 1.1

Echipamentele și instalațiile în care arcul electric își face apariția și efectele sale negative

Tipul echipamentului sau a instalației	Locul apariției arcului electric	Efecte negative ale arcului electric
În instalațiile electrice defecte	Întrerupătoare electrice defecte Prize și contacte slăbite Cabluri deteriorate sau suprasolicitate Panouri electrice și tablouri de distribuție	Incendii – temperatura ridicată a arcului poate aprinde materialele izolatoare Electrocutare – pericol pentru persoane în cazul unui contact accidental Defecțiuni ale echipamentelor – distrugerea contactelor și conductorilor
În echipamente de comutare (întrerupătoare, contactor)	În întrerupătoare de medie și înaltă tensiune În contactori industriali În rele și dispozitive de protecție	Uzura componentelor – distrugerea contactelor prin eroziune Emisii de gaze nocive – formarea de oxizi ai azotului și vapori toxici Scăderea eficienței instalației – pierderi de energie prin disipare termică
În procesele industriale (sudură, cuptoare cu arc electric)	Sudura cu arc electric Cuptoare electrice pentru topirea metalelor Tăierea cu plasmă	Radiații periculoase – expunerea la radiații UV poate afecta ochii și pielea Poluare – gaze toxice generate în timpul procesului Consum ridicat de energie – pierderi mari prin căldură
În rețelele de transport și distribuție a energiei electrice	Linii de înaltă tensiune, în special la comutarea sarcinilor mari La separatoarele de linie și echipamentele de protecție În cazul loviturilor de trăsnet și supratensiunilor	Pene de curent – defecțiuni grave ale rețelei electrice Ardere și distrugere a izolației – duce la scurtcircuite și avarii Risc de incendii – în zonele cu vegetație uscată, poate declanșa incendii de pădure

Pentru a înțelege mai bine caracteristicile arcului electric de curent continuu, este esențial de a efectua o paralelă între acestea două. Alternare care se săvârșește prin analiza atentă a mai multor cauze, cum ar fi stabilitatea, rezistența, structura și maniera acestora sub diferite condiții.

La întreruperea unui arc de curent continuu, acesta tinde să persiste mai mult timp. Deoarece curentul nu se schimbă periodic, nu există o forță naturală care să ajute la stingerea arcului, ceea ce poate duce la aprinderea unui nou arc sau la scânteii mai intense [2]. În cazul curentului alternativ, schimbările rapide ale polarității determină în mod natural întreruperea arcului la fiecare semiperioadă a curentului. Acesta se stinge mai ușor, iar riscul de a provoca un nou arc este mai mic în comparație cu curentul continuu [3].

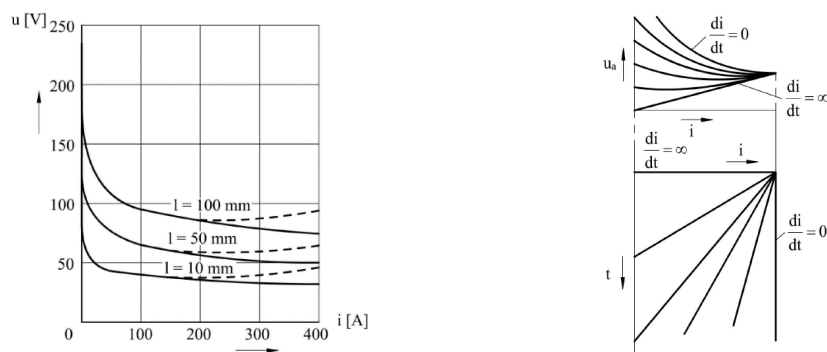


Figura 1. Caracteristicile statice și dinamice ale arcului electric de curent continuu [2]

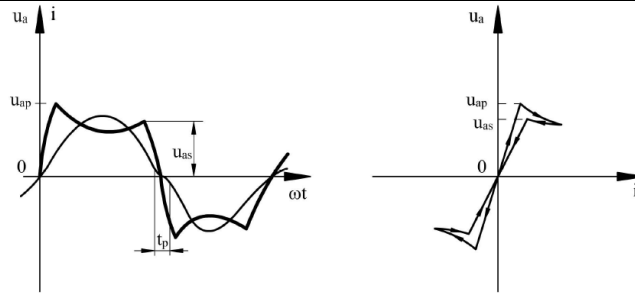


Figura 2. Caracteristicile dinamice ale arcului electric de curent alternativ [2]

Diferența dintre aceste două arcuri constă în faptul că arcul de c.c. tinde să fie mai stabil și persistent, în timp ce arcul de c.a. beneficiază de schimbările de polaritate, făcându-l mai ușor de gestionat și de stins. Această informație este indispensabilă pentru a înțelege ce echipamente electrice sunt cele mai convenabile.

2. Calcularea punctelor de stabilitate și instabilitate ale arcului de curent continuu

Scopul acestor calcule este de a determina punctul de ardere stabilă și instabilă pentru arcul de c.c. produs între două contacte.

Aproximarea analitică a caracteristicilor arcului de c.c. face posibilă modelarea matematică a acestui proces. În acest sens este cunoscută funcția de aproximare a lui Ayrton, având expresia:

$$U_a = a + \frac{b}{I} \quad (2.1)$$

unde:

$$a = \alpha + \gamma \cdot l \quad (2.2)$$

$$b = \beta + \delta \cdot l \quad (2.3)$$

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$ fiind constante ale materialului din care sunt confecționate, iar l – lungimea coloanei arcului electric [1]. În Tab. 2 sunt date valorile constantelor din funcția lui Ayrton pentru electrozii din cupru și carbon.

Tabelul 2.1.

Constantele din funcția lui Ayrton pentru electrozii din cupru și carbon [1]

Material	Constante			
	α [V]	β [V, A]	γ [V/m]	δ [VA/m]
Cupru	30	10	1000	3000
Carbon	39	11,7	21	105

Metodologia de calcul

Scopul acestei lucrări este de a se determina punctul de ardere stabilă și instabilă pentru arcul electric de c.c. produs între două contacte de cupru la distanța $l = 5,5 \text{ cm}$, alimentat de la o sursă cu tensiunea în gol $U_0 = 165 \text{ V}$. Rezistența sursei $R = 0,5 \Omega$. În continuare se va determina puterea necesară sursei ca arcul să ardă permanent. Totodată se va interpreta grafic caracteristica volt-ampere a arcului de c.c. și a rețelei electrice. Coeficienții lui Ayrton pentru cupru: $\alpha=30 \text{ V}$, $\gamma=10 \text{ V/cm}$, $\beta=10 \text{ VA}$, $\delta=30 \text{ VA/cm}$.

În continuare vom calcula coeficienții a și b pentru lungimea arcului l :

$$a = \alpha + \gamma \cdot l = 30 + 10 \cdot 5,5 = 85 \text{ V}; \quad (2.4)$$

$$b = \beta + \delta \cdot l = 10 + 30 \cdot 5,5 = 175 \text{ VA}; \quad (2.5)$$

I_2, I_1 se determină din relația:

$$I_1 = \frac{-(a-U_0) - \sqrt{(a-U_0)^2 - 4 \cdot R \cdot b}}{2 \cdot R} = 24,3224 \text{ A} \quad (2.6)$$

$$I_2 = \frac{-(a-U_0) + \sqrt{(a-U_0)^2 - 4 \cdot R \cdot b}}{2 \cdot R} = 135,6776 \text{ A} \quad (2.7)$$

Mai departe calculăm căderea de tensiune U_{p1} și U_{p2} pe arcul de curent continuu;

$$U_{p1} = a + \frac{b}{I_1} = 85 + \frac{175}{24,3224} = 67,83 \text{ V} \quad (2.8)$$

$$U_{p2} = a + \frac{b}{I_2} = 85 + \frac{175}{135,6776} = 12,16 \text{ V} \quad (2.9)$$

Calculăm puterea necesară a sursei pentru arderea permanentă a arcului electric:

$$P_1 = I_1^2 \cdot R_s + U_{p2} \cdot I_2 = 24,32^2 \cdot 0,5 + 12,16 \cdot 135,67 = 1945,78 \text{ W} \quad (2.10)$$

$$P_2 = I_2^2 \cdot R_s + U_{p2} \cdot I_2 = 135,67^2 \cdot 0,5 + 12,16 \cdot 135,67 = 10854,21 \text{ W} \quad (2.11)$$

Tabelul 2.2.

Coordonatele punctului stabil și instabil de ardere a arcului electric de curent continuu

Punctele de stabilitate și instabilitate ale arcului de c.c.	Tensiunea, V	Curentul, A
P_1 - Punct de instabilitate	67,83	24,32
P_2 - Punct de stabilitate	12,16	135,67

Tabelul 2.3.

Valori arbitrare curentului, cuprins în intervalul I_1 și I_2 .

I, A	24,32	35,42	46,52	57,62	68,72	79,82	90,92	102,02	113,12	124,22
U_a, V	92,19	89,94	88,76	88,03	87,54	87,19	86,92	86,71	86,54	86,4

În baza calculelor efectuate și a rezultatelor obținute se construiește caracteristica statică volt-ampere a arcului de curent continuu Fig.3:

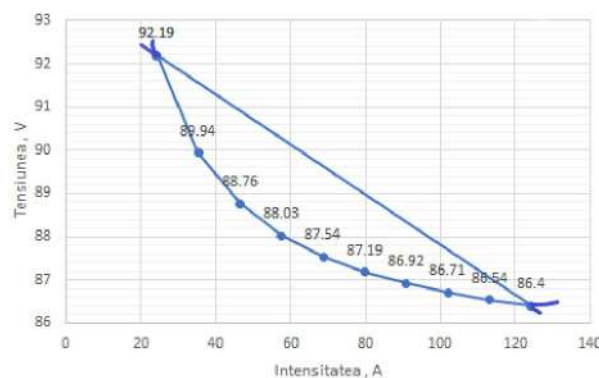


Figura 3. Caracteristica statică volt-ampere a arcului de curent continuu, unde: P_1 -Punct de instabilitate (arcul se stinge ușor); P_2 - Punctul de stabilitate (arcul arde continuu)

Concluzii

În concluzie, determinarea punctelor de stabilitate și instabilitate ale arcului electric de curent continuu este esențială pentru înțelegerea modului în care acest fenomen influențează echipamentele electrice și pentru dezvoltarea de soluții eficiente de control. Arcul electric apare în numeroase situații tehnice, de la procese industriale benefice, cum ar fi sudura și tăierea metalelor, până la situații nedorite, cum ar fi deteriorarea contactelor electrice din întrerupătoare și apariția defectelor în rețelele electrice. În urma calculării punctelor de ardere stabilă și

instabilă a arcului de curent continuu, s-a constatat că la tensiuni mici și curenți mari arcul va arde stabil iar la tensiuni mari și curenți mici arcul tinde să se stingă.

Mulțumiri. Sincere mulțumiri conf. univ., dr. Rachier Vasile pentru tot suportul teoretic și practic, pentru stabilirea direcțiilor corecte și stabilirea autenticității temei alese.

Bibliografie

Cărți sau capitole:

1. RACHIER, V. *Indicații metodice privind efectuarea lucrărilor de laborator la disciplina Echipamente Electrice și Aparate Electrice*, Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea Energetică și Inginerie Electrică, Departamentul Inginerie Electrică, Chișinău 2018, Editura “Tehnica-UTM”, 132 pag., ISBN 978-9975-45-533-6, CZU 621.313(076.5).
 2. POPESCU, L. *Echipamente Electrice*. Sibiu: Alma Mater, V.1, 2007.150- 248 p.
 3. POPESCU, L. *Echipamente Electrice*. Sibiu: Alma Mater, V.2, 2008.164- 270 p.
 4. VASILIEVICI, A., *Aparate și echipamente electrice*, vol. I-II, Ed. M-S, 1994, 1996. 25.
 5. VASILIEVICI, Al., Andea, P., *Aparate și echipamente electrice*, Ed. Orizonturi universitare, Timișoara, 2000.
 6. VASILIEVICI, Al., Andea, P., Frigura, F., *Aparate și echipamente electrice*. Aplicații, Ed. Orizonturi universitare, Timișoara, 2002.
- POPA, S. - *Echipamente Electrice* - curs - 2011..

AUTOMATIZAREA UNEI LINII DE TRANSPORTARE ȘI SORTARE UTILIZÂND CONTROLERUL LOGIC PROGRAMABIL

Maxim ENACHI^{1*}, Alexandru ZAPIVAC¹

¹Energetică, EE-221, FEIE, UTM, Chișinău, R.Moldova

*Autorul corespondent: Maxim ENACHI, maxim.enachi@en.utm.md

Îndrumătorul/coordonatorul științific Vasile RACHIER, doc. conf, FEIE, UTM

Rezumat: Domeniul IT se dezvoltă foarte repede, iar calculatoarele puternice și programele avansate au făcut ca automatizarea modernă să fie tot mai folosită. PLC-ul este o componentă esențială, oferind reglaje, comunicare și vizualizare a datelor în sistemele automate. În liniile de transport și sortare, PLC-urile, senzorii și algoritmii ajută la creșterea eficienței producției și distribuției, reducând costurile și erorile prin separarea precisă a produselor. Aceste sisteme permit procesarea rapidă a unui volum mare de produse, cresc productivitatea și optimizează activitățile economice.

Cuvinte cheie: automatizări industriale, controlerul logic programabil, soft de programare, funcție logică, limbaj de programare, linii de transportare și sortare.

Introducere

Într-o lume aflată în continuă schimbare, tehnologia este esențială în eficientizarea proceselor industriale. Centrele de distribuție și sortare se confruntă cu provocări precum reducerea costurilor, minimizarea erorilor umane și creșterea vitezei operaționale. Soluția o reprezintă sistemele automatizate inteligente, care economisesc timp și resurse, sporind productivitatea. Liniile de transport și sortare au evoluat de la operațiuni manuale, solicitante pentru operatori, la sisteme semiautomate, apoi complet automatizate, controlate de PLC-uri, reducând intervenția umană.



Figura 1.1. Exemplu de linie de transportare și sortare

Astăzi, automatizarea completă este esențială pentru eficiență și precizie în logistică. Scopul acestei lucrări este de a analiza soluțiile de automatizare a liniilor de sortare și transport cu ajutorul PLC-urilor, prezentând avantajele, dezavantajele și propuneri de optimizare.

Identificarea echipamentului utilizat în automatizare

Identificarea echipamentului necesar pentru asamblarea utilajului tehnologic este una dintre cele mai importante etape ale automatizării industriale. Alegerea potrivită a echipamentelor reduce riscul de erori și întreruperi în procesul de funcționare. În plus, acestea creează un mediu de lucru mai sigur și facilitează adaptarea rapidă la schimbările de piață și tehnologice. Tabelul de mai jos Tab. 1 prezintă echipamentele pe care le-am ales pentru proiectul nostru de automatizare, cum ar fi benzi rulante, motoare, contactoare, pushere, senzori și altele.

Tabelul 1

Echipamentul necesar automatizării

Denumirea echipamentului	Caracteristici	Imagine
Motor electric AGM 71 4B trifazat	- Tensiune (V): 220/380 V - Număr de faze: Trifazat - Puterea (W): 0.37 kW - Cos ϕ: 0.67 - Turații la mersul în gol: 1500 rot/min - Tip: Asincron	
Transportor cu bandă Rotab Rostfria	- Lungimea liniei: 195 cm - Lățime de bandă: 43 cm - Drive - Tip: bandă PVC - Motor - Putere: 0,37 kW - Viteza: 38 m/min	
Contacteur Schneider-Electric LP1K0910BD	- Curent (A): 9 A - Puterea (W): 4.0 KW - Tensiune (V): 24 V DC - Gradul de protecție: IP20 - Nr. Poli: 3P	
Relev de control fază CKF-317	- Tensiune de alimentare: 3x400/230 V, 50 Hz - Curentul maxim al bobinei contactorului: 2 A - Asimetrie de tensiune (reglabilă): 40-80 V - Întârziere la oprire: 3-5 s - Consumul de energie: 1,6 W - Grad de protecție: IP20	
Pneumatic/Electric Box Pusher Primo Sort	- Rata maximă de ciclu: Până la 75 de cicluri/min - Aer comprimat: 14 litri/min. la 5,5-6,9 bar pe ciclu. - Capacitate: Greutatea maximă a produsului este de 45 kg - Schema de cablare: Adăpostit în interiorul cutiei de borne. - Comenzi electrice: 24 V DC supapă monosolenoid.	
Sursă de alimentare Schneider-Electric	- Curent (A): 1.2 A - Tensiune (V): 100 - 240 V - Intervalul temperaturii de lucru: de la -25°C până la 70°C - Gradul de protecție (IP): IP20 - Tensiunea la ieșire (V): DC 24 V - Puterea (W): 30 W	

Denumirea echipamentului	Caracteristici	Imagine
Senzor de culori CSS High Resolution	- Rezoluție înaltă a culorilor - Detectează gradientii de culoare și materialele structurate - Distanțe de detectare de până la 500 mm - Leșirea valorilor de culoare (L*a*b/RGB) și asemănarea culorilor	
Senzor temperatura Pt100	- rezistența: 100Ω la 0°C; - plaja temperatura: 0-350°C; - cablu: cu 3 fire; - invelis cablu: fibra de sticlă; - bulb metalic; - lungime bulb: 40mm; - diametru bulb: 6mm	
P1KL002 Senzor retro-reflex universal	- Sursă de lumină: Lumină roșie - Tensiune de alimentare: 10 ... 30 V DC - Timp de răspuns: 0,25 ms - Grad de protecție: IP67/IP68	
LED indicator light	- Tensiune: 220-240V - Luminozitate: 500 cd - Consum: 1W - Diametru: 19 mm - Diametru găuri de montare: 16 mm - Denumirea tipului: AD16-16C	

Alegerea controlerului logic programabil în baza cerințelor tehnice de automatizare

Pentru a garanta performanța și fiabilitatea sistemului automatizat industrial, este esențial să alegeți un controler logic programabil potrivit. Pentru a lua o decizie, trebuie să luați în considerare complexitatea automatizării, numărul de intrări și ieșiri necesare și compatibilitatea cu echipamentele utilizate, cum ar fi senzori, actuatori și alte dispozitive. Un PLC bun poate îmbunătăți eficiența procesului prin reducerea consumului de energie și creșterea productivității. Deci, am ales PLC-ul SIEMENS LOGO! 6ED1052-1MD00-0BA8 pentru a automatiza o linie de sortare și transport.



Figura 2.1. PLC-ul SIEMENS LOGO!

Acest PLC poate funcționa la 12/24 V DC sau 115/230 V AC, ceea ce îl face potrivit pentru diferite medii industriale. Are opt intrări digitale, dintre care patru pot fi folosite și ca intrări analogice, și patru ieșiri digitale (relee). Acest lucru îl face potrivit pentru aplicații ușoare. În plus, LOGO! are un ecran LCD integrat, care facilitează configurarea și monitorizarea proceselor. Software-ul LOGO! Soft Comfort oferă programabilitate flexibilă, permițând programarea logicii într-un mod ușor, folosind funcții predefinite sau personalizate.

Elaborarea programului de automatizare în LOGO! Soft Comfort

Programul realizat în LOGO! Soft Comfort (limbaj FBD) folosește senzori și blocuri logice pentru sortarea automată a obiectelor după culoare, asigurând funcționare optimă și protecție.

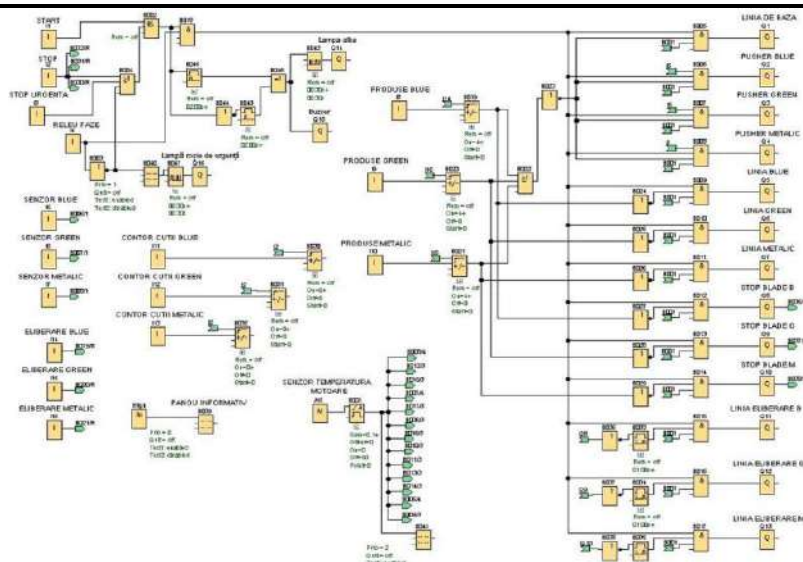


Figura 3.1. Programul de automatizare elaborat în LOGO! Soft Comfort

Apăsarea START (I1) activează instalația prin blocul RS, iar STOP (I2) și STOP URGENȚĂ (I3) o opresc resetând RS-ul. Senzorul de prezență fază (I4) oprește automat sistemul în caz de defecțiune.

Linia principală (Q1) transportă obiectele; la detectarea unui produs albastru (I5), se activează pusher-ul (Q2) care îl trimite pe Linia BLUE (Q5). Senzorul I8 numără produsele și, la atingerea cantității setate, dezactivează linia și activează Linia de Eliberare BLUE (Q11) pentru mutarea cutiei către descărcare. Senzorii I11 și I14 contorizează cutiile eliberate și resetează procesul. Ciclul se repetă pentru fiecare obiect, asigurând sortare rapidă, precisă și sigură.



Figura 3.2. Modelul instalației automatizate realizată în Factory I/O

Protecția termică este asigurată de un Senzor de Temperatură Motor (AI1), care monitorizează constant nivelul termic al sistemului. Dacă temperatura depășește un prag critic blocurile logice primesc un semnal de oprire și toate ieșirile sunt dezactivate. Acest lucru ajută la prevenirea supraîncălzirii și deteriorării echipamentului.

Concluzii

În final, în urma finisării acestei lucrări de studiu asupra problemei de automatizare a liniilor de transport și sortare constatăm faptul că:

1. Centrele de sortare și transport se confruntă cu probleme legate de reducerea costurilor, reducerea erorilor umane și îmbunătățirea eficienței proceselor de transport și sortare;

2. S-a constatat că utilizarea PLC-urilor în liniile de transport și sortare îmbunătățește semnificativ precizia și viteza procesului, asigurând un flux continuu și reducând pierderile operaționale ceea ce este o opțiune viabilă pentru optimizarea activităților logistice;
3. Analiza echipamentului a arătat că PLC-ul SIEMENS LOGO! este potrivit pentru acest tip de automatizare deoarece este flexibil, ușor de programat și compatibil cu echipamentele utilizate;
4. Programul elaborat în LOGO! Soft Comfort demonstrează că sistemul automatizat poate funcționa eficient în condiții reale, asigurând gestionarea și sortarea produselor în funcție de criterii bine definite, cu protecție suplimentară împotriva defecțiunilor;
5. Implementarea acestui sistem în centrele de distribuție și sortare ar permite o reducere semnificativă a costurilor operaționale și o creștere a productivității, contribuind astfel la dezvoltarea unor procese logistice mai rapide, sigure și eficiente.

Surse Bibliografice:

Cărți sau capitole:

1. RACHIER V. *Note de curs*. Chișinău, 2022. (format electronic).
2. RACHIER V.. *Indicații metodice privind efectuarea lucrărilor de laborator la disciplina Controlere și Automate Programabile*, Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea Energetică și Inginerie Electrică, Departamentul Inginerie Electrică, Chișinău 2022, Editura “Tehnica-UTM”, 111 pag., ISBN 978-9975-45-769-9, CZU 621.31:004.4(076.5).
3. RACHIER V., CAZAC V. *Indicații metodice pentru orele practice și de seminar la disciplina Controlere și Automate Programabile*, Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea Energetică și Inginerie Electrică, Departamentul Inginerie Electrică, Chișinău 2022, Editura “Tehnica-UTM”, 95 pag., ISBN 978-9975-45-770-5, CZU 621.31:004.4(076.5).
4. RACHIER V., *Controlere pentru automatizări mici ale celor mai populare companii. Prezentare Power Point*. Chișinău, 2013, 17 p. (format electronic).
5. RACHIER V., *Îndrumar metodic pentru efectuarea lucrărilor de laborator la disciplina „Utilizarea și Programarea Controlerelor”*, Chișinău, 2013. (format electronic)
6. RACHIER V., *Structuri de conducere ierarhizată a proceselor electroenergetice. Automatul programabil – Logo*. Îndrumar metodic pentru lucrări practice. Chișinău, 2012, 46 p. (format electronic)

Site-uri web:

7. Site-ul oficial a companiei STAMH, care se ocupă cu crearea unităților de producție sau centre de logistică, distribuție și sortare, link: <https://stamh.com/ro/sisteme-de-transport-conveioare> (accesat la data de 20.11.2024).
8. Site-ul oficial a companiei AutoAID, specializată în robotică și automatizare, distribuție și depozitare, link: https://www.autoid.ro/care-sunt-industiile-care-pot-beneficia-de-automatizare/?srsltid=AfmBOoq5SDzArB0iflBs2sJtD64_IJ-1WoRztRqqSMruPzbojZrdpyz (accesat la data de 20.11.2024).
9. Site-ul oficial a companiei WoodMatic, care se ocupă cu proiectării și producției de echipamente și linii automatizate pe baza echipamentului de la compania KDT Machinery link: <https://woodmatic.ro/> (accesat la data de 20.11.2024).
10. Site-ul oficial a companiei STILL, care se ocupă cu crearea unităților de producție sau centre de logistică, distribuție și sortare, link: <https://www.still.ro/> (accesat la data de 20.11.2024).
11. Site-ul oficial a programului Factory I/O folosit pentru crearea ilustrării programului creat în LOGO! Soft Comfort, link: <https://factoryio.com/> (accesat la data de 20.11.2024).

UTILIZAREA SOFTWARE-ULUI QGIS ÎN REȚELELE ELECTRICE DE DISTRIBUȚIE

Victor BANARI

*Departamentul Energetică, grupa EE-201, Facultatea Energetică și Inginerie Electrică,
Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Moldova*

Autorul corespondent: Victor Banari, victor77_01@mail.ru

Îndrumătorul științific: **Oleg STIOPCA**, dr., conf. univ.,
Facultatea Energetică și Inginerie Electrică, UTM

Rezumat. QGIS este un sistem informatic geografic (GIS) open-source, utilizat pentru gestionarea și analiza datelor spațiale. În domeniul rețelelor electrice de distribuție, acest software oferă o platformă puternică pentru modelarea, monitorizarea și optimizarea infrastructurii electrice. Lucrarea de față prezintă modul în care QGIS poate fi utilizat pentru cartografierea rețelelor electrice, urmărirea echipamentelor, planificarea mentenanței și sprijinirea tranziției către rețele inteligente. Sunt analizate funcționalitățile software-ului în contextul rețelei din Republica Moldova, incluzând aplicații practice precum calculul distanțelor reale, identificarea zonelor neacoperite și estimarea costurilor. Se evidențiază avantajele utilizării QGIS în gestionarea eficientă a rețelelor electrice și în integrarea surselor regenerabile de energie.

Cuvinte cheie: Rețele electrice, QGIS, GIS, mentenanță, cartografiere, smart grid

Introducere

În contextul transformării digitale a infrastructurilor energetice, sistemele informatice geografice (GIS) joacă un rol esențial în modernizarea rețelelor electrice. QGIS, ca soluție open-source, oferă funcționalități avansate pentru vizualizarea, analiza și gestionarea datelor spațiale, facilitând astfel planificarea și operarea eficientă a rețelelor de distribuție. Integrarea QGIS cu alte instrumente, precum Google Earth Pro, permite o cartografiere detaliată a substațiilor electrice și evaluarea tehnologiilor de comunicație adecvate în funcție de demografia zonelor urbane, suburbane și rurale.

De asemenea, utilizarea GIS în rețelele electrice contribuie la identificarea vulnerabilităților infrastructurii, optimizarea amplasării echipamentelor și sprijinirea tranziției către rețele inteligente, care integrează surse regenerabile și tehnologii de comunicație avansate

Metodologie

Studiul de față utilizează QGIS pentru modelarea și analiza rețelelor de distribuție electrică din Republica Moldova. Datele colectate includ localizarea stâlpilor, liniilor de joasă și medie tensiune, transformatoarelor și posturilor de transformare. Prin intermediul QGIS, s-au creat hărți interactive cu straturi multiple, permițând analiza topologică, calcularea distanțelor și estimarea traseelor optime.

Utilizarea GIS a infrastructurilor rețelelor

QGIS oferă o gamă largă de instrumente pentru gestionarea rețelelor electrice de distribuție, incluzând următoarele aplicații cheie:

1. Cartografiere și vizualizare: QGIS permite crearea de hărți multistrat care afișează elementele rețelei, precum stâlpii, liniile de transmisie, transformatoarele și substațiile. Straturile pot include atribute precum tipul conductorului (de exemplu, aluminiu sau cupru), tensiunea

nominală (0,4 kV, 10 kV) și anul instalării echipamentului. Plugin-uri precum „QGIS2Web” permit exportul hărților în aplicații web interactive, accesibile operatorilor rețelei.

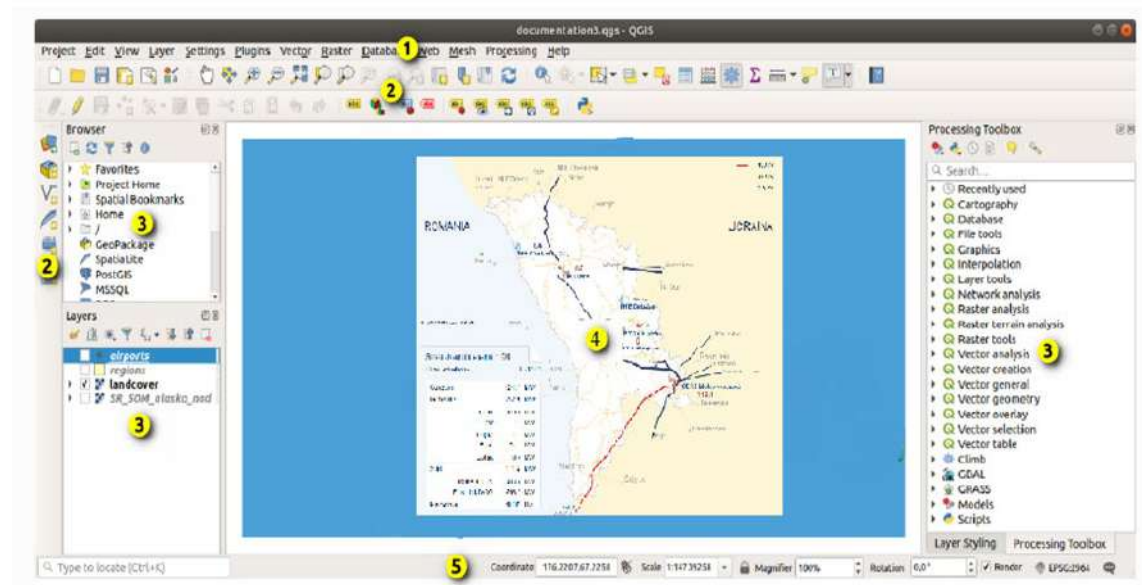


Figura 1. Interfața QGIS cu datele exemplificative pentru Republica Moldova

2. Analiza topologiei rețelei: Instrumente precum „Topology Checker” sau „Network Analysis” ajută la identificarea inconsistențelor în topologia rețelei, cum ar fi liniile neconectate sau transformatoarele amplasate incorect, îmbunătățind planificarea și prevenind defecțiunile.

3. Optimizarea traseelor: Plugin-ul „Shortest Path” permite calcularea traseelor optime pentru noile linii electrice, luând în considerare obstacole naturale (râuri, păduri) și factori economici, precum costurile de instalare a cablurilor.

4. Monitorizare și mentenanță: QGIS poate integra date despre istoricul mentenanței și vechimea echipamentelor, permițând operatorilor să planifice intervenții preventive. De exemplu, analiza spațială poate evidenția zonele cu întreruperi frecvente datorate transformatoarelor învechite.

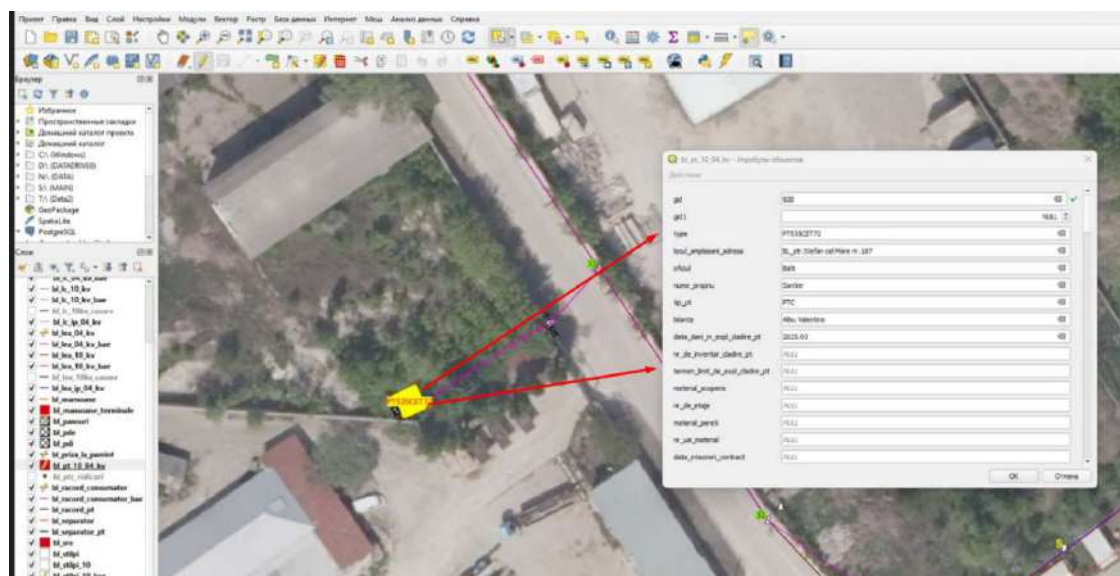


Figura 2. Evidența punctelor de transformare

5. Integrarea surselor regenerabile: În combinație cu OpenDSS, QGIS permite modelarea impactului panourilor fotovoltaice sau turbinelor eoliene asupra rețelei, prognozând suprasarcinile și optimizând amplasarea noilor surse.

6. Suport pentru rețele inteligente: QGIS se integrează cu sistemele SCADA pentru monitorizarea în timp real, permițând operatorilor să urmărească fluxurile de energie, să detecteze defecțiunile și să gestioneze generarea distribuită.

Exemplu practic: În Republica Moldova, compania RED Nord utilizează QGIS pentru a crea hărți digitale ale rețelei, reducând timpul de reacție la avarii cu 20% datorită localizării precise a defecțiunilor. De asemenea, analiza consumului de energie în zonele rurale a optimizat amplasarea noilor transformatoare, reducând costurile cu 15% comparativ cu metodele tradiționale de planificare.



Figura 3. Diagrama: Compararea costurilor de mentenanță

Concluzii

QGIS reprezintă o soluție modernă, eficientă și accesibilă pentru digitalizarea și optimizarea rețelelor electrice de distribuție. Prin funcționalitățile sale de analiză spațială, integrare de date și cartografiere avansată, QGIS oferă sprijin esențial operatorilor de rețea în gestionarea echipamentelor, monitorizarea în timp real și planificarea intervențiilor.

Studiile de caz și implementările din Republica Moldova și din alte regiuni demonstrează că utilizarea QGIS contribuie semnificativ la creșterea eficienței operaționale și la reducerea costurilor de mentenanță. De exemplu, analiza datelor privind defecțiunile în Chișinău a permis reducerea întreruperilor neplanificate cu 10% prin înlocuirea ținută a echipamentelor învechite. În plus, integrarea cu platforme precum OpenDSS, Google Earth Pro sau alte sisteme SCADA permite simularea impactului penetrației ridicate a surselor regenerabile și a vehiculelor electrice asupra rețelelor existente.

QGIS sprijină și analiza impactului ecologic, permițând operatorilor să evalueze efectele noilor linii electrice asupra zonelor naturale, în conformitate cu cerințele dezvoltării durabile. De asemenea, utilizarea QGIS în combinație cu învățarea automată (prin plugin-uri Python) permite prognozarea defecțiunilor pe baza datelor istorice, fiind utilă pentru prevenirea avariilor în condiții meteorologice extreme, frecvente în Moldova.

Pe măsură ce rețelele electrice se transformă în infrastructuri inteligente (Smart Grids), QGIS devine un instrument tot mai valoros în planificarea strategică, asigurând o mai bună reziliență, transparență și capacitate de adaptare. Astfel, utilizarea QGIS nu doar optimizează funcționarea actuală a rețelelor, ci pregătește și tranziția către viitorul digital și durabil al distribuției de energie electrică.

Surse bibliografice:*Site-uri web:*

1. RED Nord. Harta rețelelor electrice din Republica Moldova – aplicație internă QGIS.
2. QGIS Official Documentation. Disponibil online: <https://www.qgis.org> (accesat la 25 mai 2025).
3. Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). QGIS and Electric Networks.
4. Brunner, C.; Fischer, D. GIS in Power Systems Planning. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2021, Vol. 128, pp. 106-115.
5. Nguyen, T. Smart Grid Visualization Using GIS. IEEE Transactions on Smart Grid, 2022, Vol. 13, pp. 845–852.
6. Electrical substations mapping for possible communication technologies using QGIS and Google Earth Pro. ResearchGate. Disponibil online: https://www.researchgate.net/publication/379511427_Electrical_substations_mapping_for_possible_communication_technologies_using_QGIS_and_Google_Earth_ProResearch Gate
7. GIS Powers Grid Modernization. Esri. Disponibil online: <https://www.esri.com/en-us/industries/electric/initiatives/grid-modernization>esri.com
8. Modeling and Simulation of Distribution Networks with High Renewable Penetration in Open-Source Software QGIS and OpenDSS. MDPI. Disponibil online: <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/12/2925>ResearchGate+1mdpi.com+1
9. Power Grid and Infrastructure mapping and planning using GIS. MAPOG. Disponibil online: <https://www.mapog.com/power-grid-and-infrastructure-mapping-and-planning-using-gis/>MAPOG+1GIS Cloud+1
10. Mapping and Planning of Electricity Distribution Network (Use Case). GIS Cloud. Disponibil online: <https://www.giscloud.com/blog/use-case-mapping-and-planning-of-electric-distribution-network/>GIS Cloud+2GIS Cloud+2GIS Cloud+2

AMPRENTA CARBONICĂ, NEUTRALITATEA CLIMATICĂ

Ion CACEAN

Departamentul Energetică, grupa EE-211, Facultatea EIE, UTM, Chișinău, Republica Moldova

Autorul corespondent: Ion CACEAN ion.cacean@en.utm.md

Îndrumătorul/coordonatorul științific: **Ina DOBREA**, dr., lect. univ., FEIE, UTM

Rezumat. Schimbările climatice se profilează ca o amenințare majoră a existenței noastre, cu impacturi profunde asupra lumii naturale, finanțelor și modului de viață al oamenilor. Acumularea de gaze cu efect de seră în atmosferă, cauzată în mare parte de acțiunile noastre, a generat evenimente meteorologice extreme, retragerea calotelor glaciare și înălțarea nivelului apelor. Această lucrare are ca scop analiza aprofundată a noțiunii de amprentă de carbon și a strategiilor necesare pentru atingerea neutralității climatice. Studiul va examina atât aspectele teoretice, cât și exemple concrete de bune practici aplicate la nivel internațional. Printr-o analiză extinsă a provocărilor și soluțiilor existente, lucrarea va sublinia importanța acțiunilor comune și individuale în reducerea efectului asupra mediului și în crearea unui viitor durabil.

Cuvinte cheie: amprentă de carbon, neutralitate climatică, GES, CO₂, net zero.

Introducere

Schimbările climatice constituie o primejdie importantă, provocată în special de degajările de gaze cu efect de seră, provenite din activitățile oamenilor. Aceste degajări conduc la fenomene extreme, precum topirea ghețurilor și ridicarea nivelului mării. În lumina acestor fapte, amprenta de carbon și neutralitatea climatică devin imperative în demersurile de a stopa încălzirea globală.

Amprenta de carbon este un reper crucial în estimarea influenței activităților noastre asupra naturii. Ea se referă la volumul total de gaze cu efect de seră, măsurat în echivalent CO₂, care rezultă direct sau indirect din acțiunile unei persoane, entități, produs sau serviciu, pe durata întregului său ciclu de existență. Printre cauzele majore ale sporirii amprente de carbon se numără utilizarea energiei bazată pe combustibili fosili, transportul, producția industrială, agricultura intensivă și managementul inefficient al deșeurilor.

Neutralitatea climatică, numită și „emisii nete de carbon zero” (net zero), implică o balanță între gazele cu efect de seră eliberate în atmosferă și cele absorbite, prin metode naturale sau tehnologice. Atingerea acestei ținte este crucială pentru a reduce creșterea temperaturii globale sub limita de 1,5°C, conform Acordului de la Paris.

În acest context, guvernele, companiile și indivizii au un rol esențial în reducerea amprente carbonice și în atingerea obiectivului de neutralitate climatică. Politicile publice, reglementările stricte privind emisiile industriale, subvențiile pentru energia regenerabilă și promovarea transportului sustenabil sunt doar câteva dintre măsurile adoptate la nivel global.

1. Amprenta de carbon

Amprenta de carbon reprezintă un reper esențial în evaluarea impactului pe care îl avem asupra naturii. Emisiile de gaze cu efect de seră sunt un factor major în fenomenul de încălzire globală și schimbări climatice, manifestate prin evenimente extreme precum secetă, inundații și topirea ghețurilor. Prin o mai mare atenție și prin reducerea amprente personale de carbon, fiecare individ are posibilitatea de a se implica activ în protejarea planetei.

Pentru a diminua amprenta de carbon, e necesar să optăm pentru mijloace de transport alternative - transport public, bicicletă, mers pe jos -, să restrângem consumul de carne și

produse animale, să ne orientăm către energii regenerabile și să eficientizăm consumul de energie. Suplimentar, achizițiile responsabile, favorizând produsele locale și durabile, reprezintă o modalitate importantă de a contribui la diminuarea amprente de carbon.

Tipuri de amprentă carbonică:

- personală – legată de stilul de viață al unei persoane;
- a unui produs – include toate emisiile generate de la materia primă până la eliminarea produsului;
- organizațională – emisiile totale produse de o companie sau instituție;
- națională / globală – totalul emisiilor produse de o țară sau la nivel mondial.

2. Neutralitate climatică

Neutralitatea climatică semnifică o balanță perfectă între cantitatea de gaze cu efect de seră (GES) eliberată în atmosferă și cea absorbită sau compensată. Practic, un individ, o firmă, o țară sau chiar întreaga planetă emit exact atât cât natura sau alte mecanisme pot prelua sau contrabalansa. Aceasta este cunoscută și sub numele de emisii nete zero.

Pentru a atinge neutralitatea climatică, sunt necesare două acțiuni principale:

- 1) Reducerea emisiilor - prin adoptarea energiilor regenerabile, creșterea eficienței energetice, transport ecologic, limitarea consumului de carne, reciclare etc.
- 2) Compensarea emisiilor rămase - prin plantarea de arbori, protejarea pădurilor, investiții în proiecte de captare a carbonului, tehnologii verzi sau achiziționarea de credite de carbon.

Neutralitatea climatică este crucială pentru combaterea schimbărilor climatice. Emisiile excesive de gaze cu efect de seră conduc la:

- încălzire globală;
- topirea ghețarilor și creșterea nivelului mărilor;
- secete și inundații extreme;
- dereglări ecologice și pierderea biodiversității.

Pentru a limita creșterea temperaturilor globale la cel mult 1,5°C și a evita efectele severe ale schimbărilor climatice, Grupul Interguvernamental de Experți în Schimbări Climatice (IPCC) recomandă atingerea neutralității de carbon până în 2050.

Pactul Ecologic European, inițiat de Comisia Europeană, are ca scop transformarea Uniunii Europene într-o economie modernă, competitivă și eficientă din punct de vedere al resurselor. De asemenea, se dorește ca, până în anul 2050, Uniunea Europeană să ajungă la neutralitatea emisiilor de carbon și să decupleze creșterea economică de consumul de resurse. Un țel intermediar este scăderea emisiilor de gaze cu efect de seră în UE cu 55%, până în 2030. [1]

3. Cadrul legislației al U.E. și R.M.

Din punctul de vedere al integrării Republicii Moldova (RM) în Uniunea Europeană (UE), tema implementării unui sistem de taxare a emisiilor de carbon nu mai vizează „dacă”, ci „când”. Odată ce Republica Moldova va deveni parte a UE, va fi inclusă în Sistemul UE de comercializare a cotelor de emisie (ETS). Odată cu Mecanismul de ajustare la frontieră a emisiilor de carbon (CBAM) recent implementat de UE, stabilirea prețului carbonului pentru emisiile de gaze cu efect de seră va începe să se resimtă în RM începând cu 2026, în timp ce raportarea inițială în cadrul perioadei de tranziție a CBAM a început în octombrie 2023.

Tabelul.1

Eliminarea treptată a alocațiilor gratuite și introducerea a CBAM până în 2034 [2]

Anii	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
CBAM, %	2,5	5	10	22,5	48,5	61	73,5	86	100
Alocații gratuite, %	97,5	95	90	77,5	51,5	39	36,5	14	0

Costurile estimate ale alocațiilor pentru industriile R.M. (2023 - 2025) [2]

Sectorul	EMISII TOTALE CO ₂ ÎN ANUL 2022 (kt)	COSTUL EMISIILOR CO ₂ (MILIOANE €)		
		2023	2024	2025
Ciment	674,2	54,9	62,1	65,9
Oțel și fier	45,3	3,7	4,2	4,4
Căramidă	18,8	1,5	1,7	1,8
Sticlă	98	8	9	9,6
Var	83,3	6,8	7,7	8,1
Energie electrică și termică	3241,6	263,9	298,4	317
Sectorul aviației	769,6	62,6	70,9	75,3
Total emisii CO ₂	4930,7	401,4	454	482,2

Într-un ETS regional armonizat cu cel al UE, RM ar trebui să anticipeze că stabilirea prețului carbonului va afecta sectoarele cimentului, fierului și oțelului, ceramicii (cărămizii), sticlei, varului și energiei electrice/termice [5].

4. Amprenta de carbon individual

Amprenta de carbon personală definește volumul total de gaze cu efect de seră (GES) emanate, direct sau indirect, de un individ, ca urmare a acțiunilor zilnice, măsurată, de regulă, în tone echivalent CO₂ (tCO₂e) pe an. Aceasta include emisiile rezultate din utilizarea energiei, călătorii, alimentație, cumpărături, gestionarea deșeurilor și alte comportamente personale.

Diagrama din Fig. 2 (tip „pie chart”) reprezintă distribuția amprentei de carbon individuale în funcție de principalele domenii de consum și activitate ale unei persoane. Fiecare sector indică procentul din totalul emisiilor de gaze cu efect de seră asociat cu acel domeniu.

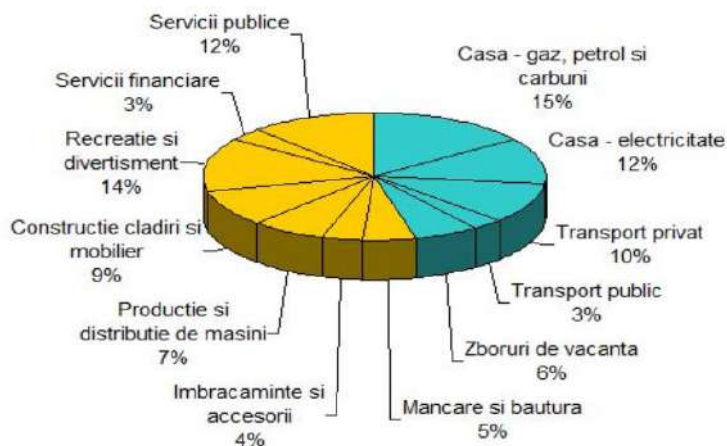


Figura 2. Amprenta de carbon a unei persoane

Cea mai mare parte a amprentei de carbon provine din **consumul energetic casnic** și **transportul individual**.

Domenii mai puțin evidente, precum **divertismentul digital** sau **serviciile publice**, au totuși un impact semnificativ. Graficul subliniază faptul că toate alegerile de zi cu zi contează, iar reducerea amprentei personale implică o abordare holistică a stilului de viață.

Exemplu de calcul a amprentei de carbon individuale cu ajutorul softului specializat.



Welcome to the web's leading carbon footprint calculator

First, please tell us where you live: [\[select?\]](#)

Country:

Carbon footprint calculations are typically based on annual emissions from the previous 12 months.
Enter the period this calculation covers (optional):

from to [Save](#)

Next, select the appropriate tab above to calculate the part of your lifestyle you are most interested in, e.g. your flights.
Or, visit each of the tabs above to calculate your full carbon footprint.

Following your calculation, you can offset / neutralise your emissions through one of our climate-friendly projects.

Figura 3. Calculul amprenteii de carbon pe un an



Household carbon footprint calculator

Enter your consumption of each type of energy, and press the Calculate button.

Your individual footprint is calculated by dividing the amount of energy by the number of people in your house.

How many people are in your household?

To calculate your full household footprint, select "1".

Electricity: kWh at a factor of kgCO₂e/kWh [what's this?](#)
Natural gas: kWh
Heating oil: litres
Coal: metric tons
LPG: litres
Propane: litres
Wooden pellets: metric tons

[Calculate Household Footprint](#)

Total House Footprint = 0.32 metric tons of CO₂e [Offset Now](#)

Figura 4. Calculul amprenteii de carbon a unei locuințe



Car carbon footprint calculator

You can enter details for up to 2 cars

Mileage: km
Choose vehicle:

Or enter efficiency: g/km

[Calculate & Add To Footprint](#)

Total Car Footprint = 412.00 metric tons of CO₂e [Offset Now](#)

Figura 5. Calculul amprenteii de carbon a unui autovehicul



Secondary carbon footprint calculator

Please enter your amount of spend for each category below, and then press the Estimate button to estimate your secondary carbon footprint

Choose your currency:

Food and drink products (for a heavy meat eater) € per year
Pharmaceuticals € per year
Clothes, textiles and shoes € per year
Paper based products (e.g. books, magazines, newspapers) € per year
Computers and IT equipment € per year
Television, radio and phone (equipment) € per year
Motor vehicles (not including fuel costs) € per year
Furniture and other manufactured goods € per year
Hotels, restaurants, and pubs etc. € per year
Telephone, mobile/cell phone call costs € per year
Banking and finance (mortgage and loan interest payments) € per year
Insurance € per year
Education € per year
Recreational, cultural and sporting activities € per year

[Estimate Secondary Footprint](#)

Total Secondary Footprint = 0.33 metric tons of CO₂e [Offset Now](#)

Figura 6. Calculul amprenteii de carbon în alte domenii

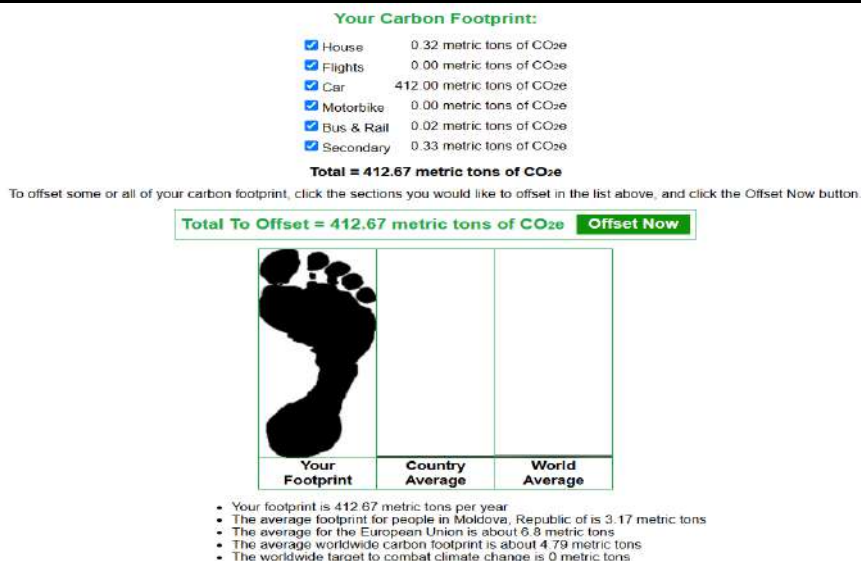


Figura 7. Calculul amprente de carbon total

Avantajele calculării amprente de carbon a produselor [3]:

- Evaluarea detaliată a impactului ambiental al fiecărui produs: această abordare permite companiilor să aprofundeze contribuția fiecărei etape din ciclul de viață al produsului la emisiile de gaze cu efect de seră, identificând astfel punctele cheie pentru optimizare.
- Sporirea eficienței operaționale: analiza amprente de carbon a produselor pentru optimizarea consumului de energie, apă și resurse în procesul de producție și distribuție.
- Atragerea consumatorilor responsabili. O amprentă de carbon scăzută sau etichetarea transparentă pot reprezenta un avantaj competitiv pe piață.
- Inovație și design ecologic: promovarea utilizării materialelor sustenabile, tehnologiilor de producție curate și ambalajelor prietenoase cu mediul.
- Respectarea reglementărilor: unele piețe impun prin lege etichetarea sau raportarea amprente de carbon a produselor. [1, 4]

Concluzie

În fața schimbărilor climatice, amprenta de carbon este o unealtă vitală pentru a măsura influența acțiunilor umane asupra mediului, prin intermediul emisiilor de gaze cu efect de seră. Studiul și diminuarea acestei amprente sunt pași importanți pentru a schimba spre o dezvoltare durabilă. Ideea de neutralitate climatică, definită ca echilibrarea emisiilor de carbon cu capacitatea de absorbție a acestora, fie prin procese naturale, fie prin tehnologii avansate.

Atingerea neutralității climatice necesită măsuri coordonate și coerente la nivelul guvernului, economiei și societății. Strategiile de decarbonizare, susținerea energiilor regenerabile, eficiența energetică, inovația tehnologică și modificarea obiceiurilor de consum sunt elemente interconectate ce ajută la îndeplinirea acestui obiectiv. Acordurile globale, cum ar fi Acordul de la Paris, împreună cu inițiativele naționale și locale, evidențiază necesitatea colaborării între națiuni și implicarea activă a tuturor grupurilor sociale.

Surse bibliografice:

Cărți sau capitole:

1. BURGOS N., IWASZUK E., KNOBLAUCH D., MEDERAKE L., NOEBEL R.. *Association of Municipalities Polish Network "Energie Cités"*. Berlin, 2024. [pag. 114 - 116]. ISBN: 978-83-958097-5-0. Disponibil: <https://www.ecologic.eu/sites/default/files/publication/2024/30019-RO-local-long-term-climate-neutrality-strategies.pdf>.

2. CHAPARRO R., HEERMANS J., ȚĂRANU M. *Activitatea de Securitate energetică în Republica Moldova*. Chișinău 2005 [Citat 25 septembrie 2023]. Disponibil: https://mediu.gov.md/sites/default/files/Documente%20atasate%20Advance%20Pagines/Case_Study_Moldova_ETS_CBAM_Assessment_25_September_2023_RO.pdf;
3. RONCEA C., *Amprenta de carbon si neutralitatea emisiilor de carbon*. Chișinău 18 septembrie 2024. Disponibil: <https://fiunexemplu.ro/amprenta-de-carbon-si-neutralitatea-emisiilor-de-carbon/>.
4. DOBREA, I., ROTARU, A., STRATAN, I. *Opportunity of using a mixed neutral treatment solution in the distribution electrical networks of the Republic of Moldova*. In: Journal of Engineering Science, 2023, vol. 30, nr. 3, pp. 60-77. ISSN 2587-3474. DOI: [https://doi.org/10.52326/jes.utm.2023.30\(3\).05](https://doi.org/10.52326/jes.utm.2023.30(3).05).
Site-uri web:
5. Agenția de Mediu RM. Disponibil: <https://am.gov.md/ro/content/b3-emisii-de-gaze-cu-efect-de-ser%C4%83>.

ROLUL MODERNIZĂRII REȚELELOR ELECTRICE INTELIGENTE ÎN DOMENIUL ENERGETIC

Mirela DEMIANIC

Departamentul Energetica, grupa EE-211, Facultatea Energetică și Inginerie Electrică,
Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

Autorul corespondent: Demianic Mirela, mirela.demianic@ie.utm.md

Îndrumătorul/coordonatorul științific **Ina DOBREA**, dr., lect. univ., FEIE, UTM

Rezumat. Această lucrare analizează impactul modernizării rețelelor electrice inteligente asupra eficienței și sustenabilității sistemului energetic. Sunt examinate funcționalitatea principalelor componente ale rețelelor inteligente – contoare inteligente, senzori, sisteme de control și integrarea surselor regenerabile – și modul în care acestea contribuie la reducerea pierderilor tehnice și comerciale.

Digitalizarea aduce transparență în relația operator–consumator și stimulează implicarea activă a utilizatorilor. Este evidențiat și rolul activ al prosumatorilor, precum și influența pozitivă asupra costurilor și comportamentului energetic. Rețelele inteligente permit gestionarea adaptivă a fluxurilor energetice și sporesc fiabilitatea infrastructurii. Integrarea vehiculelor electrice și a microrețelelor oferă un suport strategic pentru stabilitatea sistemului.

Cuvinte cheie: eficiență energetică, prosumatori, automatizare, flexibilitatea consumului, stocarea energie, previziune energetică.

Introducere

În contextul tranziției globale către un sistem mai sustenabil, rețelele electrice inteligente (smart grids) devin elemente esențiale în modernizarea infrastructurii energetice tradiționale. Aceste rețele reprezintă o combinație avansată de tehnologie, digitalizare și sustenabilitate, având scopul de a îmbunătăți eficiența energetică, de a reduce pierderile și de a permite o integrare mai amplă a surselor regenerabile. Smart grids se bazează pe o infrastructură complexă formată din senzori, contoare inteligente, sisteme de control automatizat și platforme de analiză a datelor în timp real, care permite nu doar transmiterea eficientă a energiei, ci și circulația bidirecțională a informației între consumatori și producători. Prin capacitatea de a reacționa în timp real la cererea și oferta de energie, aceste rețele pot anticipa fluctuațiile de consum, pot preveni penele de curent și pot contribui la menținerea stabilității sistemului energetic național.

1. Componentele rețelelor electrice inteligente

În era digitalizării accelerate și tranziției energetice globale, rețelele electrice inteligente se afirmă ca un pilon tehnologic esențial. Funcționarea acestor rețele se bazează pe o arhitectură complexă, compusă dintr-o serie de componente interconectate care colaborează pentru a asigura eficiența, siguranța și sustenabilitatea sistemului energetic. Fiecare dintre aceste componente joacă un rol bine definit, iar împreună permit funcționarea optimă a unei rețele capabile să se adapteze rapid la cerințele dinamice ale consumatorilor și la variațiile din producția energetică.

Rețelele inteligente oferă, flexibilitate, eficiență și sustenabilitate superioară, fiind indispensabile pentru tranziția energetică și economia circulară.

Comparația între Rețele Convenționale și Inteligente este prezentată în Tab.1.

Comparația între Rețele Convenționale și Inteligente

Caracteristici	Rețele Convenționale	Rețele Inteligente
Fluxul de energie	Unidirecțională	Bidirecțională
Flexibilitate	Scăzută	Ridicată și adaptivă
Monitorizare	Periodică/manuală	Continuă, automată, în timp real
Eficiență energetică	Redusă	Optimizată automat
Integrarea surselor regenerabile	Limitată	Extinsă și flexibilă
Participarea consumatorilor	Pasivă	Activă
Răspuns la cerere	Întârziată	Automată, anticipată

Un alt component cheie este reprezentat de contoarele inteligente (smart meters), care permit o măsurare detaliată și continuă a consumului de energie. Aceste furnizează date atât operatorilor de sistem, cât și consumatorilor, facilitând o gestiune eficientă a energiei, facturarea corectă și detectarea pierderilor sau consumului anormal. În plus, aceste contoare încurajează un comportament mai conștient al utilizatorilor, care pot decide să își ajusteze obiceiurile de consum în funcție de informațiile primite [1,2].

2. Eficiența energetică și sustenabilitatea sistemului

Rețelele electrice inteligente contribuie în mod esențial la acest obiectiv, oferind soluții tehnologice avansate care permite optimizarea consumului, reducerea pierderilor și integrarea armonioasă a surselor regenerabile. Prin digitalizarea proceselor și automatizarea deciziilor operaționale, aceste rețele transformă modul în care energia este produsă, distribuită și consumată.

Unul dintre cele mai importante beneficii ale rețelelor inteligente constă în capacitatea acestora de a reduce pierderile tehnologice și comerciale. În rețelele convenționale, o parte considerabilă din energia produsă se pierde pe traseul de la generator la consumator, fie din cauza rezistenței conductoarelor, fie a dezechilibrelor de sarcină. Rețelele inteligente abordează această problemă printr-o monitorizare continuă și prin reglaje automate ale fluxurilor de energie, ceea ce duce la scăderea pierderilor și la creșterea eficienței globale a sistemului.

Rețelele inteligente joacă un rol important în asigurarea sustenabilității sistemului energetic. Ele contribuie la reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră, la creșterea rezilienței în fața situațiilor extreme și la promovarea unui consum responsabil, informat și flexibil. În acest fel, ele susțin tranziția către o economie verde și digitală, în care energia nu mai este doar o resursă, ci un element gestionat inteligent, în interesul comun al mediului și al societății.

3. Studiul de caz: Implementarea rețelelor inteligente la nivel internațional

Germania – Pionerul tranziției energetice.

Germania se numără printre liderii mondiali în tranziția energetică, care presupune abandonarea treptată a surselor fosile și nucleare și implementarea surselor regenerabile. Rețelele electrice au devenit coloana vertebrală a acestei tranziții. Prin proiecte pilot precum „Smart City Cologne”, s-au implementat soluții avansate de integrare a energiei solare și eoliene în rețea, însoțite de platforme de gestiune a cererii și ofertei.

Danemarca – Integrarea surselor eoliene în rețea.

Danemarca este un exemplu de excelență în integrarea energiei eoliene în rețeaua națională. Cu un procent de peste 40% din energia electrică provenind din surse eoliene, statul danez a dezvoltat o infrastructură inteligentă care să permită adaptarea în timp real la variațiile vântului. Operatorii de rețea colaborează cu prosumatorii și centralele electrice pentru a echilibra cererea și oferta, folosind tehnologii precum automatizarea rețelelor și agregarea consumatorilor.

Proiectul „EcoGrid EU” a demonstrat că flexibilitatea consumului poate fi valorificată eficient prin digitalizare și tarifare dinamică.

Japonia – Rețele inteligente pentru orașe reziliente.

Din anul 2011 Japonia a accelerat dezvoltarea rețelor inteligente pentru a asigura continuitatea alimentării cu energie în caz de catastrofe. Proiectele promovează orașe inteligente. Tehnologiile de inteligență artificială sunt integrate în gestiunea energetică pentru a optimiza în timp real distribuția și consumul [3, 4].

O direcție majoră în dezvoltarea rețelor inteligente o reprezintă integrarea inteligenței artificiale. Tot mai multe țări investesc în tehnologi de tip *digital twin*, care permite simularea comportamentului rețelei și intervenția preventivă. *Blockchain*-ul devine o soluție viabilă pentru asigurarea transparenței și securității tranzacțiilor energetice între prosumatori, în special în contextul dezvoltării platformelor de schimb energetic peer-to-peer (P2P) [5, 6].

4. Digitalizarea și securitatea rețelor electrice inteligente

Infrastructura digitalizată a unei rețele inteligente se bazează pe o multitudine de dispozitive interconectate de la senzori și contoare inteligente, până la platforme de analiză bazate pe cloud și sisteme SCADA avansate. Această rețea digitală complexă transformă rețeaua electrică într-un organism integru, capabil să își autoregleze activitatea, să anticipeze anomalii și să răspundă dinamic la cerințele sistemului. Platformele de analiză predictivă, alimentate de algoritmi de învățare automată, pot identifica tendințe, semnalând posibile avarii înainte ca acestea să apără, iar operatorii pot interveni preventiv pentru a evita întreruperile de alimentare. Un alt avantaj al digitalizării constă în comunicarea bidirecțională între producători, prosumatori și distribuitori.

Securitatea cibernetică devine un element critic, întrucât orice vulnerabilitate poate fi exploatată cu consecințe grave asupra funcționării sistemului național electroenergetic. Atacurile sau furturi de date și întreruperi provocate intenționat pot afecta nu doar fluxul energetic, ci pot duce la pierderi economice și sociale [7].

Concluzii

Prin capacitatea de a monitoriza în timp real parametrii sistemului, de a comunica bidirecțional cu utilizatorii și de a răspunde dinamic la fluctuațiile de producție și consum, rețelele inteligente reprezintă o infrastructură vie – una care învață, se adaptează și evoluează. Integrarea senzorilor, a contoarelor inteligente, a sistemelor de control automatizat și a surselor regenerabile formează o rețea elastică și eficientă, capabilă să reducă pierderile, să optimizeze fluxurile energetice și să sprijine echilibrul între cerere și ofertă. Această lucrare a demonstrat că eficiența energetică nu mai poate fi privită izolat, ci trebuie analizată în tandem cu sustenabilitatea, securitatea, reziliența și participarea activă a consumatorilor. Prosumatorii, acei noi actori din rețeaua electrică, nu doar consumă, ci contribuie activ la alimentarea rețelei, generând un model de colaborare și descentralizat. Prin previziunea producției, stocarea energiei și adaptarea consumului la condițiile din sistem, rețelele inteligente devin un catalizator al tranziției verzi.

Într-un secol în care energia nu mai este doar un serviciu, ci un drept esențial, capacitatea de a o gestiona inteligent devine o măsură a maturității noastre tehnologice și sociale. Rețelele inteligente sunt, în esență, infrastructura invizibilă a unei lumi mai curate, mai sigure și mai echitabile – o punte între prezent și viitor, între inovație și umanitate.

Mulțumiri.

Exprim sincere mulțumiri Doamnei dr., lect. univ. Dobrea Ina pentru îndrumare și susținere, precum și Facultății Energetică și Inginerie Electrică și Universității Tehnice pentru

oportunitatea oferită de a publica un articol propriu. Această experiență mi-a permis să explorez în profunzime informații valoroase și să le împărtășesc într-un cadru academic de înaltă calitate.

Surse bibliografice:

Articole în reviste:

1. GHEORGHIU, M.; ILIESCU, C. *Sisteme Energetice Moderne*, Editura AGIR, 2022
<https://www.agir.ro/carte/sisteme-energetice-moderne>
2. BĂLAN, E; VASILESCU, L. *Tranziția energetică: Provocări și soluții*, 2ed ed: Editura ASE: București, România, 2020. Volumul 1, pp. 225-251
<https://www.biblioteca.ase.ro/catalog/Carte/19906>
3. ANDRONAGHE, C. *Gestionarea energiei electrice în rețele inteligente*, Editura Politehnica press: București, România, 2021; pp.56-102.
4. POPESCU, M; ENACHE, A. *Sisteme de alimentare cu energie electrică*. Editura: Craiova, România, 2018; pp. 112-153.
5. DOBREA, I., ROTARU, A., & STRATAN, I. (2023). Opportunity of using a mixed neutral treatment solution in the distribution electrical networks of the republic of moldova. *Journal of engineering science*, 30(3), 60–77.
[https://doi.org/10.52326/jes.utm.2023.30\(3\).05](https://doi.org/10.52326/jes.utm.2023.30(3).05)
6. EURELECTRIC. *Cybernetic in the Energy Sector: Recommendation for Policy Makers*; Brussels, Belgiu, 2020.
https://www.eurelectric.org/media/4703/cybersecurity_report_final-2020-030-0149-01-e-h-E5177A9B.pdf
7. U.S. Departament of Energy. *The Smart Grid: An Introducton*. 2008 USA Washington pp,1-48

ASPECTE DE INTEGRARE A SURSELOR DE ALIMENTARE PENTRU ASCENSOARELE DE PASAGERI

Cristian HAIDUCU

*Inginerie Electrică, ISEM-211, Energetică și Inginerie Electrică, Universitatea Tehnică a Moldovei,
Chișinău, Republica Moldova*

Autorul corespondent: Cristian HAIDUCU, cristian.haiducu@ie.utm.md

Coordonatorul științific **Alexandru TARLAJANU**, dr., conf.univ., FEIE,UTM

Rezumat. *Lucrarea se referă la asigurarea eficienței energetice și a funcționării sigure a ascensoarelor de pasageri, în cazul unor fluctuații sau întreruperi în rețeaua publică de alimentare. Pentru aceasta, sunt aplicate mai multe soluții tehnice, inclusiv surse de alimentare de rezervă sau generatoare, dispozitive automate de salvare integrate în ascensoare etc. Una din abordările inovatoare se referă la utilizarea sistemelor de alimentare hibride care conțin o sursă de energie solară conectată la rețeaua de alimentare. Scopul lucrării constă în studiul principiilor de integrare a surselor de alimentare pentru ascensoarele de pasageri.*

Cuvinte cheie: *ascensor de pasager, sistem hibrid, panouri fotovoltaice, baterii de stocare, sistem de recuperare a energiei.*

Introducere

Ascensoarele de pasageri sunt o componentă de bază a clădirilor, facilitând deplasarea rapidă și eficientă între etaje. La general, ele pot fi cu tracțiune electrică sau hidraulică, dar în ambele cazuri este vitală asigurarea eficienței energetice și a funcționării sigure în cazul unor fluctuații sau întreruperi în rețeaua de alimentare. În lucrare sunt descrise aceste tipuri de ascensoare și conceptele de realizare a unui sistem integrat de alimentare pentru ele. Aceste concepte includ conexiunea directă la rețea cu sisteme de rezervă, soluții hibride ce combină sursa de energie solară cu stocarea în baterii pentru sporirea autonomiei funcționării, reducerea costurilor de exploatare și minimizarea impactului asupra mediului ambiant. Studiul acestor aspecte reprezintă scopul lucrării.

Generalități privind tipurile de ascensoare

Ascensorul este o instalație de ridicat staționară cu funcționare periodică, care transportă pe verticală, între stații fixe persoane și/sau materiale, în cabina ghidată pe glisieră rigide, verticale sau înclinate maximum cu 15° față de verticală.

După principiul de funcționare și domeniul de utilizare, ascensoarele pot fi clasificate ca ascensoare de persoane, ascensoare de marfă, ascensoare mixte, ascensoare electrice, ascensoare hidraulice, ascensoare interioare, ascensoare exterioare, ascensoare pentru locuințe. În continuare se fac referințe la ascensoarele electrice și ascensoarele hidraulice.

Ascensoarele electrice sunt sisteme de transport vertical care folosesc cabluri și scripeți și care sunt acționate de un motor electric. Ele se folosesc pe larg în diferite tipuri de clădiri, inclusive cele pentru locuință. Sistemul de acționare a ascensorului se bazează pe motoare electrice de curent alternativ sau de curent continuu.

Echipamentul electric și sistemul de alimentare a ascensorului trebuie să corespundă cerințelor Normelor de construire a instalațiilor electrice. Caracteristicile tehnice ale echipamentului electric, rețelelor electrice și executarea lor trebuie să corespundă parametrilor tehnici ai ascensorului atât referitor la tensiunea și frecvența rețelei de alimentare, sarcinile de curent, fiabilitate, cât și condițiile de exploatare, depozitare, transportare a acestuia [1].

Construcția unui ascensor electric de pasageri este dată Fig. 1.

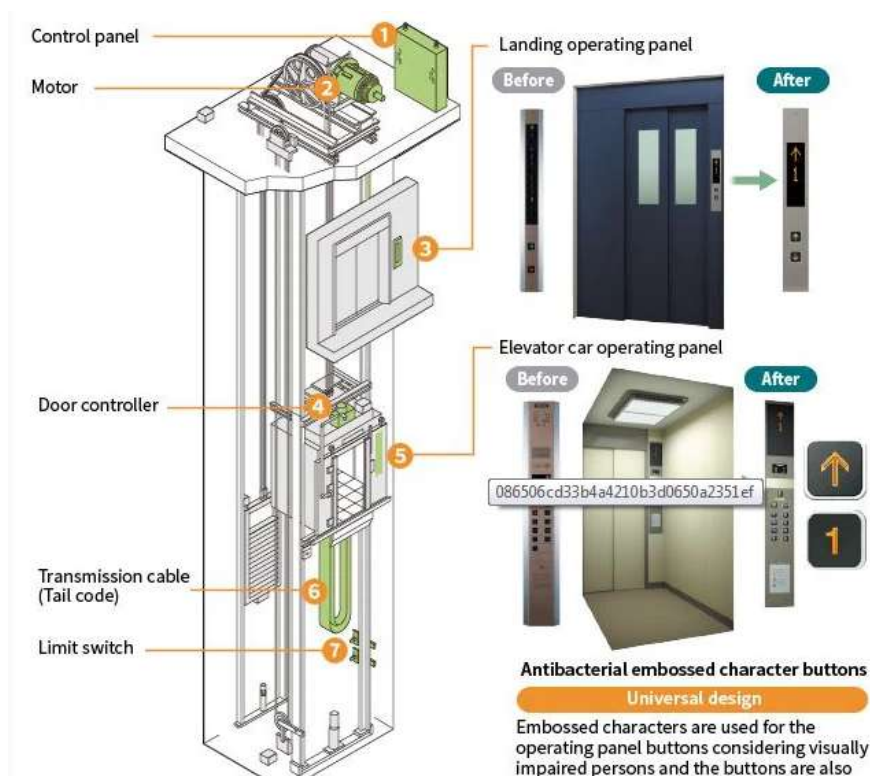


Figura 1. Componentele unui ascensor electric de pasageri [2]

Principalele elemente ale sistemului de comandă al ascensorului electric de pasageri sunt panoul de comandă, motorul electric, panoul de operare de aterizare, controlerul de ușa, cablul de transmisie, panoul de operare a cabinei liftului și întrerupătorul de limită.

Ascensoarele hidraulice pentru pasageri sunt acționate de un cilindru 1 cu piston 2 în partea inferioară care împinge liftul în sus Fig.2.

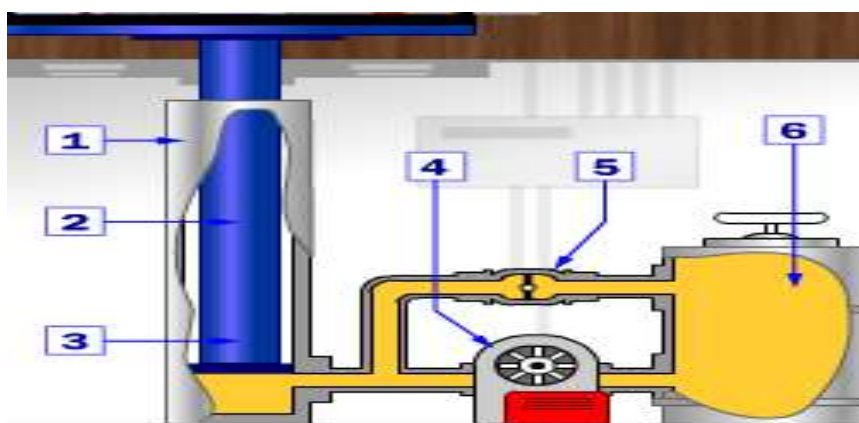


Figura 2. Schema de acționare a ascensorului hidraulic pentru pasageri

Camera mașinilor pentru ascensoare hidraulice este situată la nivelul de jos al arborelui ascensorului. Forța de ridicare a cabinei ascensorului este creată de o pompa hidraulică 4 care pompează ulei dintr-un rezervor 6 printr-o supapă 5 de ridicare. La coborârea ascensorului se deschide supapa de coborâre care asigură reîntoarcerea uleiului în rezervor sub acțiunea greutății proprii a cabinei, iar supapa de ridicare se blochează.

În Fig.3 sunt date elementele de construcție ale ascensorului hidraulic holed Fig. 3a, ascensorului hidraulic telescopic Fig. 3b și ascensorului hidraulic cu frânghii Fig. 3c.

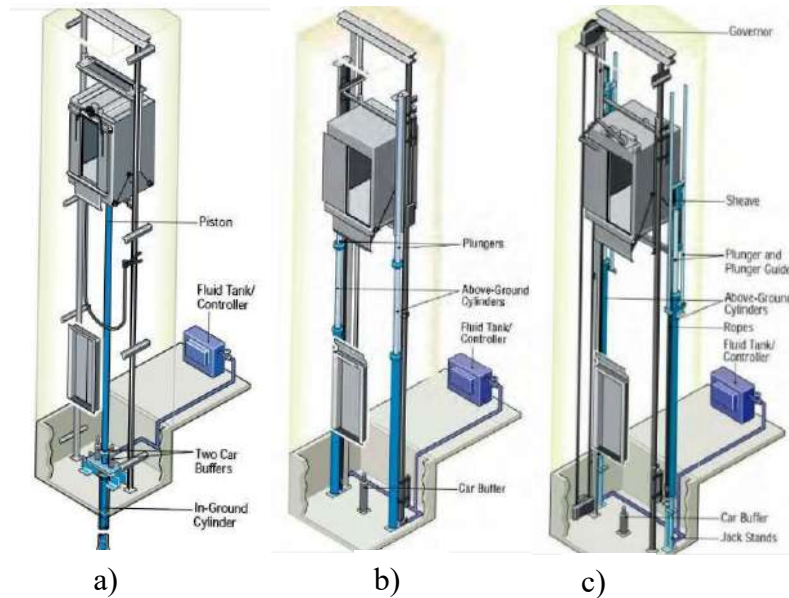


Figura 3. Elemente de construcție ale ascensoarelor hidraulice [3]

De menționat că, acționarea hidraulică a ascensorului este simplă, fiabilă, însă necesită un motor electric al pompei cu o putere de circa 3 ori mai mare, față de acționarea ascensorului electric. În afară de aceasta, uleiul din sistemul hidraulic se încălzește, ceea ce duce la ridicarea temperaturii motorului, cufundat în rezervor, și impune utilizarea unui sistem adăugător de răcire. Prin urmare, ascensoarele electrice sunt mai eficiente [4].

Consumul de energie a ascensoarelor electrice stă la baza sintezei sistemului de acționare a acestora. Evident că în timpul transportului pasagerilor, acest consum este net superior consumului în timpul stării de așteptare. Importanța modelării cererii de putere a ascensoarelor și îmbunătățirii eficienței lor energetice este amplificată de rolul crescând a acestora în societatea urbană modernă, cu cererea sporită de produse "verzi" din partea clienților. În plus, rolul orașelor în schimbările climatice și securitatea energetică a fost amplificat, atrăgând o activitate de cercetare semnificativă în domeniul sistemelor energetice urbane [5].

Cantitatea de energie consumată de un ascensor este influențată de următorii factori:

capacitatea de încărcare - cu cât ascensorul poate transporta mai multă greutate, cu atât consumul este mai mare;

înălțimea clădirii - distanța pe care o parcurge ascensorul afectează direct consumul;

frecvența utilizării - un ascensor utilizat intens va consuma mai multă energie;

tehnologia motorului - motoarele mai eficiente energetic reduc consumul.

De exemplu, un ascensor capabil să transporte 630 kg poate consuma între 2 și 4 kWh pe zi, în funcție de numărul de curse efectuate. Puterea de consum P pe o deplasare a ascensorului se determină cu ecuația

$$P = P_{\text{staționar}} + P_{\text{control}} + P_{M,el}(t_i), \quad (1)$$

unde $P_{\text{staționar}}$ este puterea de consum în regim staționar;

P_{control} - puterea consumată de sistemul de control în timpul unei călătorii;

$P_{M,el}(t_i)$ - puterea consumată de motorul electric în timpul unei călătorii

Adăugător se ea la evidență și operațiunile ușilor înainte și după călătorie pentru o durată de două secunde [6].

Sistemul hibrid de alimentare a ascensoarelor electrice de pasageri

În contextul actual, care pune accent pe soluții prietenoase cu mediul ambiant și pe utilizarea eficientă a energiei, devine în creștere necesitatea sistemelor combinate sau hibride pentru alimentarea ascensoarelor de pasageri. Combinarea sursei fotovoltaice de energie electrică cu sursa de energie din rețeaua electrică tradițională rezultă în multiple avantaje, inclusiv reducerea consumului de energie din surse clasice, asigurarea funcționării continue a ascensorului în situații de urgență sau întreruperi de curent, reducerea costurilor de exploatare etc.

Sistemul fotovoltaic hibrid este o integrare a sistemelor *on-grid* și *off-grid*, capabil să combine surse de energie de la panouri fotovoltaice, acumulatori sau rețea electrică. El poate furniza surplusul de curent în rețea, iar în caz de întreruperi de curent - trece în regim de lucru *off-grid* [7]. Există mai multe modele de integrare a surselor de alimentare într-un sistem hibrid [8,9]. Pentru realizarea scopului lucrării se face referință la o soluție hibridă ce combină sursa de energie solară cu stocarea în baterii și sursa din rețeaua electrică tradițională pentru sporirea autonomiei funcționării, reducerea costurilor de exploatare și minimizarea impactului asupra mediului ambiant Fig. 4.



Figura 4. Sistem fotovoltaic hibrid

Sistemul fotovoltaic hibrid oferă o modalitate inteligentă de a utiliza energia regenerabilă pentru ascensoarele de pasageri. Energia captată este stocată, transformată și folosită pentru alimentarea ascensorului, reducând astfel necesitatea utilizării energiei electrice din rețeaua publică. Concomitent, utilizarea Acumulatorului – UPS și a invertorului On-Grid asigură funcționarea sigură a ascensoarelor de pasageri, în cazul unor fluctuații sau întreruperi în rețeaua publică de alimentare, și furnizarea surplusului de energie fotovoltaică în rețeaua publică.

Pentru structurarea sistemului fotovoltaic hibrid și dimensionarea componentelor sistemului se reiese din puterea de consum și condițiile de exploatare a acestuia. Important este ca componentele să se selecteze din cele fabricate în serie și accesibile în rețeaua de comerț.

Concluzii

Implementarea sistemelor fotovoltaice hibride pentru ascensoarele de pasageri sporește eficiența energetică a clădirilor, asigură funcționarea sigură a ascensoarelor în cazul unor fluctuații sau întreruperi în rețeaua publică de alimentare, diminuarea costurilor operaționale și minimizarea impactului asupra mediului ambiant. Există multiple soluții de dezvoltare a

sistemelor hibride, dar din punct de vedere a costurilor și duratei implementării, preferabilă este utilizarea componentelor fabricate în serie și accesibile în rețeaua de comerț. Rezultatele studiului efectuat, reflectate în prezenta lucrare, pot sta la baza structurării sistemului fotovoltaic hibrid pentru ascensoarele de pasageri și dimensionarea componentelor acestuia.

Mulțumiri. Aduc sincere mulțumiri domnului coordonator, dr. conf. univ. Alexandru Tarlajanu pentru sprijinul și susținerea acordată pe durata realizării articolului dat. Datorită dumnealui am putut crea un articol integru și structurat.

Surse bibliografice:

Site-uri web:

1. Ascensoare. Disponibil online: <https://liftservice.md/old/elevatorsMD.html> Accesat: 06.05. 2025.
2. Care Sunt Componentele Ascensorului Pentru Pasageri? . Disponibil online: <https://ro.aolida-lift.com/news/what-are-the-components-of-the-passenger-eleva-48719593.html> Accesat: 06.05. 2025.
3. Tipuri de ascensoare și clasificare. Disponibil online: <https://ro.aolida-lift.com/info/elevators-types-and-classification-60474828.html> Accesat: 06.05. 2025.
4. Ascensoare Hidraulice pentru pasageri. Disponibil online: <https://moodle.utm.md/enrol/index.php?id=66> Accesat: 25.02. 2025.
5. Cleaner energy for transition of cleaner city. Disponibil online https://www.researchgate.net/publication/316253325_Cleaner_energy_for_transition_of_cleaner_city Accesat: 07.05. 2025.
6. Modeling the aggregated power consumption of elevators – the New York city case study. Disponibil online: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030626191931030X> Accesat: 07.05. 2025.
7. Sistem fotovoltaic hibrid. Disponibil online: <https://amper.md/produs/sistem-fotovoltaic-hibrid/> Accesat: 07.05. 2025.
8. Ce este o Stație Hibridă Fotovoltaică? Disponibil online: <https://eprime.md/sisteme-hibrid/> Accesat: 07.05. 2025.
9. Microrețele. Disponibil online: <https://www.clarke-energy.com/ro/microgrids/> Accesat: 07.05. 2025.



**SECȚIA CALCULATOARE, INFORMATICĂ ȘI
MICROELECTRONICĂ**

**SECTION OF COMPUTERS, INFORMATICS AND
MICROELECTRONICS**

**SUBSECȚIA INGINERIE SOFTWARE ȘI SECURITATE
SOFTWARE ENGINEERING AND SECURITY SUBSECTION**

DOMAIN-SPECIFIC LANGUAGE FOR SOLVING CHEMICAL PROBLEMS

Ion IAMANDII, Patricia MORARU, Augustin PLOTEANU, Vladislav TITEREZ*

*Department of Software Engineering and Automation, group FAF-233, Faculty of Computers, Informatics and
Microelectronics, Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova*

*Corresponding author: Vladislav Titerez, vladislav.titerez@isa.utm.md

Tutor/coordinator: **Mariana CATRUC**, university lector

Abstract. *The domain specific language focused on chemistry was created to help school and university students to solve daily and more complex chemical problems using a programming approach. The research was conducted with the aim of finding out how best to implement the idea of DSL for chemistry and how to simply and efficiently solve existing student problems. The methodology used included domain analysis, formal definition of the language grammar, and development and testing of a functional prototype. This language does not assume programming knowledge but welcomes it. Using this language, the user can visualize a formula, reaction equation or obtain important information about the reaction, such as oxidizers and reducers, by calling several simple functions.*

Keywords: *dsl, chemistry, reactions, organic chemistry, visualization, molecular structure.*

Introduction

Chemistry is quite a difficult subjects for both professionals and students, mainly, because of the abstract and complex concepts about atomic structures, chemical reactions, and chemical bonding. It takes a lot of practice to get used to symbolic representations of formulas, equations, and graphs of transformations. The goal of the project is to create a Domain Specific Language (DSL) that will help the users to improve learning of chemistry, and real-world applications. The DSL is aimed particularly for high school and early college education, as well as students and professionals of cheminformatics. [1] [2]

Domain of Study. The areas of study of this project are: chemical education, computational chemistry. The DSL aims to optimize reaction analysis, molecular visualization, and chemical calculations. The topic was chosen since it's relevant in learning environments among students. [3]

Motivation behind the Selection of the Topic. The motivation originates from the noticeable gap between abstract chemical theory and practical understanding. Furthermore, the available tools created for these particular reasons are either too complex or there isn't an universal software that can combine all these tasks. [4]

Degree of Originality and Relevance. Even though, there are a few solutions of DSLs for chemistry already available, some of them are either outdated, unpopular, lack interactive user interfaces and may not combine all the crucial features mentioned above.

The main goals are the following:

- to create a DSL that makes the whole process of balancing chemical reactions much easier, including identifying oxidizing and reducing substances and validating the the viability of the entire reaction;
- to make possible the visualization of the molecular structures and chemical formulas, which will help for a better comprehension of chemical properties; [5]
- to help in solving complicated chemical problems, particularly those involving molecular weight, volume, and pH levels. [6]

Problem Analysis

One of the biggest issues in chemistry education is that many calculations still have to be done manually, which can be both time-consuming and frustrating. For example, when students balance chemical equations, they need to ensure that the number of atoms on both sides of the equation is equal, which can be tricky with more complex reactions. This is especially true for redox reactions, which require additional steps to account for electron transfer and oxidation states. The manual balancing process often involves trial and error, leading to mistakes that can affect students' understanding of stoichiometry. If there was a way to automate this process, it would save time and reduce errors, making chemistry more accessible to learners at all levels.

Another significant challenge is the difficulty of visualizing molecular structures without specialized software. Chemical bonding theories, such as VSEPR (Valence Shell Electron Pair Repulsion) theory, explain molecular shapes based on electron repulsion, but these concepts can be abstract without appropriate visual aids. Without clear and interactive visualizations, students might struggle to grasp spatial relationships between atoms and functional groups in molecules. Furthermore, professional chemists and researchers rely on molecular modeling software to predict chemical behavior and design new compounds. However, many of these tools are complex, expensive, or require advanced training to use effectively, limiting accessibility for students and educators.

Additionally, chemistry requires multiple computational tools to solve different types of problems, such as pH calculations, thermodynamic analysis, and reaction kinetics. Having to switch between different platforms and resources not only disrupts the workflow but also increases cognitive load, making problem-solving more challenging. By integrating these functionalities into a single tool, chemistry education and research could become more efficient, reducing the barriers to learning and discovery. [7]

Outlining the Solution

The solution is creating a domain-specific language (DSL) that simplifies computational chemistry and chemical education issues, building on the previous analysis of these issues. These issues include the need for integrated chemical calculations, the fragmented landscape of visualization tools, and the time-consuming nature of manual equation balancing. The core concept of the solution is to design a unified platform where users can:

- Automate routine chemical calculations (e.g., balancing equations, molecular weight determination);
- Visualize complex molecular structures and reaction mechanisms within an interactive interface;
- Integrate computational methods for rapid chemical analysis, reducing reliance on multiple external tools.

This initial proposal defines the strategic direction. It establishes the groundwork for a scalable, iterative development approach by establishing precise goals and a project name that accurately conveys the emphasis on streamlining chemistry calculations and instruction. The first version of the DSL will cover the fundamental features required by chemistry instructors, students, and researchers in its initial iteration. Future editions will extend capabilities based on actual classroom, lab, and research circumstances and include mentor input. The iterative development approach ensures that, while the initial requirements may be minimal, the system will evolve - taking as its base all gathered information and ongoing user input — to eventually cover a broader set of chemical problem-solving needs.

Practical Implementation of a DSL for Chemistry

The key choice when creating a DSL is its grammar. This choice determines how popular and accessible the language will be to users. The choice of grammar also affects the further development of the language.

Language $L(G) = (S, P, V_N, V_T)$ in case of a chemistry DSL can be presented as follow:

$V_N = \{ \langle \text{program} \rangle, \langle \text{statementList} \rangle, \langle \text{statement} \rangle, \langle \text{assignment} \rangle, \langle \text{expression} \rangle, \langle \text{functionCall} \rangle, \langle \text{ifStatement} \rangle, \langle \text{identifier} \rangle, \langle \text{string} \rangle, \langle \text{outputType} \rangle, \langle \text{includeIsotopes} \rangle, \langle \text{temperature} \rangle, \langle \text{pressure} \rangle, \langle \text{defaultVar} \rangle, \langle \text{identifier} \rangle, \langle \text{string} \rangle, \langle \text{number} \rangle \}$;

$V_T = \{ \text{let, if, else, resolve, possible, getOxidixngs, getReducings, show, getMolecWeight, getVolume, getV, =, isAcid, isBase, +, (,), \{, \}, ;, , " \}$.

Some of production rules include:

```

<assignment> → let <identifier> (= <expression>)? | <identifier> = <expression>

<expression> → <string> | <identifier> | <expression> + <expression> | <functionCall>

<functionCall> → resolve(<expression> [, <outputType>]) | possible(<expression>)
                | getOxidixngs(<expression>) | getReducings(<expression>) | show(<expression>)
                | getMolecWeight(<expression> [, <includeIsotopes>])
                | getVolume(<expression> [, "custom", <temperature>, <pressure>])
                | isAcid(<expression>) | isBase(<expression>)
                | getV(<expression>, <expression>)

<ifStatement> → if(<functionCall>) { <statementList> }
              | elseif(<functionCall>) { <statementList> } *
              | else { <statementList> } ?
  
```

Figure 1. A part of production rules for Chemistry DSL

After choosing the language grammar, you can proceed to its direct implementation. This process includes creating a lexer, parser, and interpreter. Unfortunately, due to the limited volume of the article, it is not possible to provide the implementation of these parts of the DSL. However, this can be done by analyzing the project in [github](#). Below is a simple example of how the language works. [\[1\]](#)

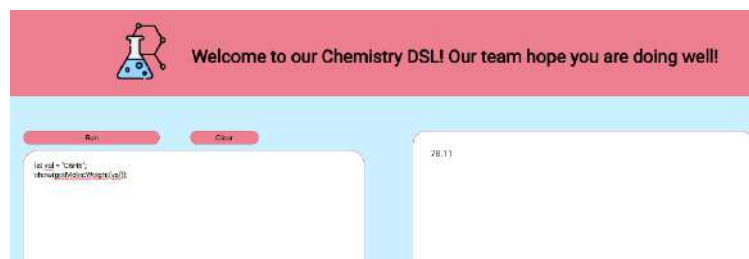


Figure 2. Example of working with DSL for chemistry

Conclusion

Having come a long way, a subject-oriented language specializing in working with chemical elements and visualization of these elements or the result of working with these elements was implemented. Thanks to a large set of functions, it is enough to just remember them (or refer to the memo on the main page of dsl) and use them when necessary. These functions allow you to avoid long searches on the Internet, they give the opportunity to immediately get the necessary data and operate them as the user needs. In addition to the fact that this subject-oriented language can be easily opened in a browser, it provides everything a student or schoolchild needs, allowing him to comfortably and with interest study chemistry together with programming - exactly what the creators sought.

Acknowledgements

Special thanks go to the people who helped develop the domain specific language for chemistry, namely Mariana Catruc, Dmitry Cretu and Irina Cojuhari, and also thanks to the readers who read this article.

Bibliography

1. IAMANDII, I.; MORARU, P.; PLOTEANU, A.; TITEREZ, V. GitHub, "Domain Specific Language for Chemistry", Jan-present 2025 <https://github.com/vvtttvv/ELSD>
2. TABER, K. S. (2013). Chemical Misconceptions—Prevention, Diagnosis and Cure. Royal Society of Chemistry.
3. GILBERT, J. K.; TREAGUST, D. F. (2009). Multiple Representations in Chemical Education. Springer.
4. MURRAY-RUST, P.; RZEPA, H. S. (2003). "Chemical markup, XML, and the World Wide Web." *Journal of Chemical Information and Computer Sciences*, 43(3), 757–762.
5. GILLESPIE, R. J. (2004). "Teaching molecular geometry with the VSEPR model." *Journal of Chemical Education*, 81(3), 298.
6. HIBBERT, D. B. (2004). "Chemometrics in analytical chemistry." *Journal of Chromatography B*, 813(1–2), 33–36.
7. BECK, K. (2004). *Extreme Programming Explained: Embrace Change*. Addison-Wesley.
8. COJUHARI, I.; DUCA, L.; FIODOROV, I. *Formal Languages and Finite Automata. Guide for practical Lessons*. Chișinău: Editura Tehnica-UTM, 2022, 120 p. ISBN 978-9975-45-852-8
9. DUCA, L.; COJUHARI, I.; CIORBĂ, D.; COJOCARU, S. *Limbaje formale și automate finite. Ghid pentru lecțiile practice*. Chișinău: Editura Tehnica-UTM, 2024, pp. 128. ISBN 978-9975-64-381-8.

SWARM INTELLIGENCE IN CYBERSECURITY: THE FUTURE OF ADAPTIVE DEFENSE

Eduard BUCARI

*Departamentul Ingineria Software și Automatică, grupa TLA-221M, Facultatea Calculatoare, Informatică și
Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chisinau, Moldova*

Autorul corespondent: Eduard BUCARI, eduard.bucari@isa.utm.md

Îndrumătorul/coordonatorul științific Besliu VICTOR, prof. univ., dr., TUM

Abstract. *The growing complexity of cyber threats—ranging from AI-powered malware to zero-day exploits—demands adaptive, decentralized defense systems. This study examines the application of Swarm Intelligence (SI), including Ant Colony Optimization, Particle Swarm Optimization, and Artificial Bee Colony algorithms, in cybersecurity domains such as anomaly detection, distributed coordination, and traffic analysis. Special attention is given to the emerging field of Quantum Swarm Intelligence (QSI), which combines SI with quantum computing principles to enhance convergence speed, solution diversity, and unpredictability—key advantages against sophisticated, evolving threats. The research also explores the dual-use nature of SI, analyzing how adaptive botnets and polymorphic malware may exploit these mechanisms. Countermeasures like adversarial SI and hybrid models with Large Language Models (LLMs) are proposed to anticipate and mitigate such risks. By integrating QSI and LLMs, this work outlines a novel framework for resilient, autonomous threat defense. It highlights the need for cautious deployment, balancing innovation with security. Future directions include simulating QSI-based cyberattacks to preemptively strengthen adaptive defense protocols. This paper aims to establish a foundation for next-generation cybersecurity driven by collective intelligence and quantum-enhanced adaptability.*

Keywords: *Swarm Intelligence, Quantum Swarm Intelligence, Cybersecurity, Decentralized Systems, Adaptive Defense, Nature-Inspired Algorithms.*

Introduction

The term "swarm intelligence" was first introduced in 1989 by researchers Gerardo Beni and Jing Wang in the context of studying the collective behavior of systems composed of numerous simple agents [1]. In the 1990s, this concept gained traction with the development of optimization algorithms such as Ant Colony Optimization (ACO) and Particle Swarm Optimization (PSO) [2, 3]. These advancements laid the foundation for applying SI to complex computational problems. Since 2020, swarm intelligence has increasingly been integrated with artificial intelligence, including Large Language Models (LLMs), opening new horizons for its application across various domains [4, 5, 6].

In cybersecurity, the potential of swarm intelligence is only beginning to be explored. Its decentralized architecture, adaptability, and fault tolerance make SI well-suited for developing autonomous defense systems against sophisticated, evolving threats. This article investigates the application of SI in cybersecurity, emphasizing its scalability, real-time learning, and coordination efficiency.

A novel aspect of this work is the integration of Quantum Swarm Intelligence (QSI) a hybrid paradigm that incorporates quantum computing concepts to enhance diversity, convergence speed, and unpredictability in threat detection. QSI strengthens SI's capacity to address advanced attacks and improves performance in complex environments like IoT and cloud infrastructures.

By analyzing both the benefits and challenges of applying SI and QSI in cybersecurity, this article argues that swarm-based models can form the core of next-generation adaptive defense capable of not only reacting to threats but proactively preventing them.

Key principles of Swarm Behavior

Swarm behavior is underpinned by several key principles that enable the robust, scalable, and flexible characteristics of natural swarms [7, 8]:

Decentralization. There is no single controlling entity in swarm systems; instead, control is distributed across individual agents. This decentralization enhances system robustness and fault tolerance by eliminating single points of failure.

Simple Rules. Each agent follows simple rules, and the interaction of these rules across the swarm leads to emergent complex behavior. These rules are typically based on local environmental perception, without requiring a global perspective.

Local Interaction. Agents rely primarily on local information or interactions with neighbors. This constraint is critical for scalability, as it reduces communication overhead and computational complexity associated with managing global data.

Emergence. The global behavior of the swarm emerges from individual interactions without explicit programming. Emergent behavior is a hallmark of swarm intelligence, often yielding adaptive and resilient solutions compared to centrally planned approaches.

Adaptability and Learning. Swarm systems are inherently adaptive, adjusting their behavior based on environmental feedback. Learning can occur at the individual or swarm level, enhancing the system's ability to respond to dynamic or uncertain conditions.

The application of these principles in cybersecurity unlocks new possibilities for adaptive and self-learning defense systems. Such systems can detect threats in real time, dynamically reconfigure their architecture, and respond to attacks without requiring centralized control. Let us now examine the specific challenges facing modern cybersecurity and how swarm intelligence technologies can address them.

Quantum Swarm Intelligence: A Transformative Cybersecurity Framework

The escalating sophistication of cyber threats, such as zero-day exploits, advanced persistent threats (APTs), and AI-driven malware, demands a revolutionary approach to cybersecurity. This study introduces an innovative framework integrating Swarm Intelligence (SI), Quantum Swarm Intelligence (QSI), and formant analysis-based cryptography to create adaptive, resilient defenses. By combining decentralized SI algorithms, quantum computing, and advanced cryptographic methods, this research addresses limitations in traditional cybersecurity systems, offering novel contributions to secure emerging technologies. Quantum Swarm Intelligence (QSI) merges the decentralized, self-organizing nature of SI with quantum algorithms, leveraging superposition, entanglement, and annealing to process vast datasets (e.g., 6G traffic, IoT telemetry) in near-real time. Unlike classical SI algorithms (e.g., Ant Colony Optimization, Particle Swarm Optimization), QSI's Quantum Particle Swarm Optimization (QPSO) solves complex problems exponentially faster, detecting subtle attack patterns like anomalous packet latency or API misuse. QSI predicts novel attack trajectories, such as zero-day exploits, with high accuracy, making it ideal for securing quantum internet, blockchain ecosystems, smart cities, and decentralized finance (DeFi).

Formant Analysis-Based Cryptography with SI

Drawing from interoperable payment systems, this study adapts the RSA-m algorithm [9], an advanced RSA variant using formant analysis to introduce indeterminate parameters, enhancing cryptanalysis complexity. RSA-m enables secure, high-speed communication among SI agents, supporting quantum-secure data exchange. Its rapid key rotation counters adaptive

botnets and polymorphic malware, with RSA-mAB variants achieving faster encryption/decryption than classical RSA while maintaining robustness. This integration ensures scalability and resilience in dynamic environments like 6G networks and IoT systems. A novel contribution of this work is its systematic analysis of SI's dual nature as both a defensive tool and a potential attack vector. Adaptive botnets and polymorphic malware, increasingly leveraging SI principles, pose unprecedented challenges. To address this, the study proposes counter-SI systems, where defensive swarms use adversarial training to anticipate and neutralize SI-based attacks. By simulating attack scenarios in a quantum sandbox, QSI agents model adversarial swarm behaviors, identifying vulnerabilities in real time. For instance, quantum-enhanced reinforcement learning enables the swarm to adapt continuously, refining threat models to counter evolving attack strategies. Additionally, integrating Large Language Models (LLMs) with QSI enhances threat prediction by analyzing unstructured data (e.g., dark web chatter or X posts) to forecast attack intent. This dual-defense mechanism combining counter-SI and LLM-driven intelligence offers a proactive approach to mitigating risks from SI-based threats, an underexplored area. The hybrid QSI-RSA-m framework ensures real-time cryptographic resilience for 6G networks, quantum internet, and DeFi platforms. RSA-m's rapid key rotation (e.g., 152-bit keys for 24-hour sessions with three-year secrecy) protects critical infrastructure like smart grids and autonomous vehicles against quantum-enabled attacks. This approach enhances cryptostrength without replacing existing systems, ensuring interoperability and practicality for online payments and real-time communications [9].

Table 1: Comparative Analysis of Quantum Swarm Intelligence Cybersecurity Framework Components. This table compares the functionality, technological foundations, advantages, challenges, and applications of Quantum Swarm Intelligence (QSI), Swarm Intelligence with RSA-m Cryptography (SI + RSA-m), and Counter-SI with Large Language Models (LLM). The framework integrates quantum computing, formant analysis-based cryptography, and adversarial training to provide adaptive, resilient defense against next-generation cyber threats.

Table 1

Component	Functionality	Technological Foundation	Advantages	Challenges	Applications
Quantum Swarm Intelligence (QSI)	Real-time anomaly detection and prediction of complex, multi-vector attacks.	Quantum algorithms (QPSO, superposition, entanglement, annealing); quantum-enhanced pattern recognition.	Exponential speed in processing massive datasets (e.g., 6G traffic, IoT telemetry); high-accuracy detection of zero-day exploits.	Limited quantum hardware availability; high computational complexity.	6G networks, quantum internet, smart cities, decentralized finance (DeFi).
Swarm Intelligence with RSA-m (SI + RSA-m)	Secure, decentralized collaboration and communication among agents.	Classical SI algorithms (ACO, PSO); RSA-m cryptography with formant analysis-based indeterminate parameters.	Rapid key rotation for quantum-secure communication; scalable in dynamic environments like IoT.	Integration complexity with existing systems; potential for false positives.	IoT ecosystems, online payment systems, real-time communications (e.g., 3–10 min sessions).
Counter-SI with Large Language Models (LLM)	Proactive mitigation of SI-based attacks (e.g., adaptive botnets, polymorphic malware).	Quantum sandbox, adversarial training, quantum-enhanced reinforcement learning, LLM for threat prediction.	Anticipates evolving attack strategies; leverages unstructured data (e.g., dark web, X posts) for intent forecasting.	High computational cost of adversarial training; need for explainable AI validation.	Critical infrastructure (smart grids, autonomous vehicles), blockchain security.

Future Directions

Future research will simulate SI- and QSI-based attacks to strengthen defenses, adapt RSA- m for biometric authentication and blockchain security, and pursue hardware realization of QSI and RSA-m on microprocessors to improve encryption speeds. Integrating QSI with autonomous systems will ensure scalable protection for smart city infrastructures against multi-vector assaults.

Conclusion

This study pioneers a holistic cybersecurity framework by integrating SI, QSI, and formant analysis-based cryptography, offering a resilient, adaptive defense against next-generation cyber threats. By addressing SI's dual nature, leveraging quantum computing's speed, and enhancing cryptographic resilience, it provides a blueprint for securing emerging technologies. Future research will focus on practical deployment and attack simulation, cementing QSI's role as the backbone of autonomous, resilient cyber defense.

Acknowledgements

I express my deepest gratitude to my scientific supervisor, Professor Victor Besliu, for his invaluable guidance, profound expertise, and unwavering support throughout the development of this research. His insightful feedback and encouragement were instrumental in shaping the direction and quality of this work. I am equally grateful to Dr. Veaceslav Cunev for his dedicated mentorship and collaborative spirit, which significantly enriched the study. Their combined expertise in cybersecurity and innovative approaches to complex problems inspired and motivated me to push the boundaries of this research. This work would not have been possible without their exceptional guidance and commitment.

References

1. BENI, G.; WANG. J. "*Swarm Intelligence in Cellular Robotic Systems*". Berlin, Heidelberg, 1993, pp.703-712.
2. DI CARO, G.; DORIGO, M. *AntNet: Distributed Stigmergetic Control for Communications Networks*. 1998, pp. 317-365.
3. DORIGO, M.; MANIEZZO, V.; COLORNI, A. "*Ant system: Optimization by a colony of cooperating agents*". B: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics 26 (1996), pp.29-41.
4. FENG, S. et al. "*Model Swarms: Collaborative Search to Adapt LLM Experts via Swarm Intelligence*". B: (oct.2024), pp.2-11.
5. HAN, X. et al. "*Swarm Intelligence in Geo-Localization: A Multi-Agent Large Vision-Language Model Collaborative Framework*". 2024. pp. 2-8.
6. QU, Y. "*Federated Learning driven Large Language Models for Swarm Intelligence: A Survey*". B: (June 2024). pp. 1-10.
7. TANG, J.; LIU, G.; PAN, Q. "*A review on representative swarm intelligence algorithms for solving optimization problems: Applications and trends*," IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, vol. 8, no. 10, pp. 1627–1643, 2021.
8. KENNEDY, J. "*Swarm intelligence*," in Handbook of nature-inspired and innovative computing: integrating classical models with emerging technologies. Springer, 2006, pp. 187–219.
9. КУНЕВ, В. "*Современные интероперабельные информационные технологии в защищенных электронных платежных системах на основе алгоритмов формантного анализа*", Диссертация на соискание ученой степени доктор в информатике. Кишинёв 2023.

AI – THE TRANSFORMATIVE FORCE IN GAME DEVELOPMENT

Alina KERNUS

*Technical University of Moldova, Faculty of Computers, Informatics and Microelectronics,
group TI-246, Chişinău, Republic of Moldova*

Corresponding author: Alina Kernus, alina.kernus@isa.utm.md

Coordinator: Corina TINTIUC, university assistant, Department of Foreign Languages, TUM

Abstract: *It is now evident that Artificial intelligence (AI) is one of the greatest breakthrough technologies of our time and it is not going to stop evolving and increasing its capabilities. It has impacted nearly every aspect of our lives, including the video game industry. AI is playing a crucial role in reducing the rising costs of game production by automating time-consuming and repetitive tasks, allowing designers to focus on more creative aspects. In addition, the application of AI in game testing can help automate and optimize the process thus making it faster and more effective. This paper aims to provide a comprehensive overview of AI's current applications in the gaming industry, illustrating how it improves graphics and physics, while also enhancing player experiences by enabling innovative features, such as realistic NPC (non-playable characters) behavior and aiding procedural content generation. Finally, the study focuses on the issues that are associated with the integration of AI in gaming.*

Keywords: *game testing, machine learning, algorithms, natural language processing, NPC scripting, procedural content generation.*

Introduction

Artificial intelligence (AI) is technology that enables computers and machines to simulate human learning, comprehension, problem solving, decision making, creativity and autonomy [1]. The main goal of AI is to implement human intelligence in machines, enabling them to behave like humans.

In video games, AI can be used to generate responsive, adaptive or intelligent behaviors primarily in non-playable characters (NPCs), that resemble human-like intelligence [2]. It also aids in creating environments, assets, and music; assists programmers with coding; and helps test video games for bugs, problematic areas, and other issues.

NPC scripting

Techniques, such as pathfinding and decision trees (scripting), are the most common means of control over NPCs, which are often implemented in modern games. However, it can result in "artificial stupidity", such as repetitive behavior, loss of immersion, or abnormal behavior in situations the developers did not plan for [2].

AI can be used to solve most of these problems by creating smart NPCs, but it can be challenging to fine-tune AI systems so that they enhance immersion and make them appear more lifelike without breaking the game. Although it is not quite needed right now, given that 3.32 billion gamers worldwide (2024) can play together, it will be more prominent in the future [3]. It is also quite expensive and requires different workflow to create.

An example of AI-driven NPCs can be found in the game *Suck up!* (2023), where you play as a vampire attempting to persuade people to let you inside their homes. All NPCs dialogue is AI generated, which provides unique and varied responses, depending on your character's statement and outfit, used vocabulary, tone of speech and past interactions, ensuring that conversations feel fresh and engaging, even after multiple playthroughs.

How can AI aid procedural content generation?

Procedural content generation (PCG) is the creation of data using an algorithm, as opposed to manually creating the data. It is generally used for increasing the replay value, data compression, reusing data, and for greater scalability in games [4].

Although PCG cannot be classified as AI, as it may be a simple mathematical formula, it can be greatly improved by the use of AI. These technologies go hand in hand to make the gaming experience as exciting and fascinating as possible. Not only can AI create stunning visuals, unique textures, and breathtaking landscapes, but it can also help with simulating different situations such as flying a plane, which requires the constant adjustment of numerous variables, such as weather conditions and aircraft performance, and much more (see Fig. 1).

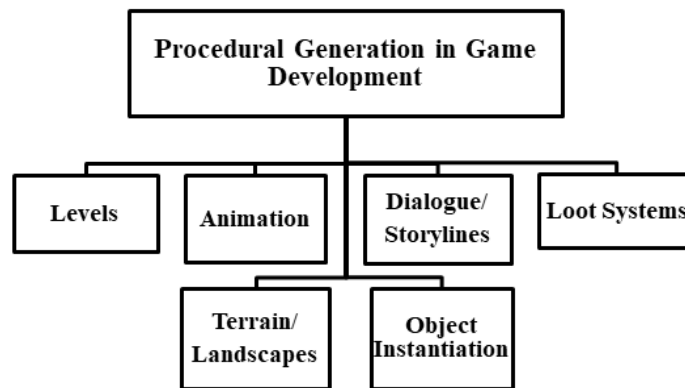


Figure 1. Specific uses of procedural generation in game development

The limitations of AI in procedural generation

One major limitation of AI in procedural generation is its lack of creativity. Even with its high level of intelligence, AI cannot fully replace human creativity, as it relies solely on existing data to generate outputs, lacking the ability to originate entirely new ideas, emotions, or innovative concepts in the same way humans do.

Secondly, AI requires a lot of data to function optimally. It cannot effectively learn and improve without a lot of input and feedback. This means that smaller projects or niche applications will have a harder time incorporating AI into their games.

Lastly, AI is still a relatively new technology, and only a select number of game developers have the necessary skills to use it. So, in order to use AI in game development, companies may need to invest in additional training or expand their teams.

Game testing with AI

As modern games become more and more complex, even the greatest quality assurance teams may overlook significant bugs and malfunctions due to time and resource constraints. AI-driven automated testing involves intelligent systems that can learn, adapt, and even generate tests on their own — it's not just about running pre-written scripts.

Various AI techniques are at play [5]:

- **Machine Learning.** Algorithms learn from existing test data to predict potential issues and prioritize testing efforts.
- **Neural Networks.** Mimic the human brain to recognize patterns in visuals, audio, and gameplay, uncovering subtle bugs that might go unnoticed.
- **Natural Language Processing (NLP).** Analyzes player feedback, reviews, and social media chatter to identify potential issues and gauge player sentiment.

With the use of these techniques, AI can automate game testing by continuously simulating gameplay to uncover bugs, glitches, and performance issues, thereby eliminating the

need for game testers to perform repetitive tasks. It also ensures fair difficulty levels, responsive controls, and competitive integrity. Additionally, AI enhances user experience by analyzing player interactions and feedback by using NLP, which processes forums, reviews, and other player discussions.

The challenges of using AI in game testing

AI programs need a lot of data, like game records, player actions, and code reviews, to function properly. Moreover, people must keep an eye on them to make sure that AI doesn't make mistakes.

Adopting AI-driven testing involves an initial investment in tools, setup, and expertise. However, over time, it enhances efficiency, accuracy, and player satisfaction, making the initial costs worthwhile.

The growth of AI raises concerns about job loss. Though AI can handle certain tasks, it cannot replicate human creativity, intuition, or critical thinking. Instead, AI supports testers by allowing them to focus on key responsibilities such as analyzing player feedback, devising innovative test strategies, and ensuring the overall enjoyment of the game.

Another issue is the ethical considerations. AI algorithms often rely on player data to learn how to detect bugs and simulate real gameplay. This raises questions around data privacy and consent, as AI tools gather and analyze vast amounts of data. Developers need to ensure that these tools respect player privacy and adhere to regulations around data collection and use [6].

Conclusions

Taking everything into consideration, AI is revolutionizing game development in ways that once seemed impossible. From enhancing NPC behavior to optimizing procedural content generation and automating game testing, it has become an invaluable tool for developers. It reduces repetitive tasks, improves efficiency, and helps create more immersive experiences. However, it is not without its challenges. There are still issues like data dependency, ethical concerns, and the need for human oversight. The possibilities for AI in games will grow as technology develops further, opening the door for even more revolutionary breakthroughs. At the same time, ongoing advancements will help address its limitations and refine AI systems.

References:

1. What is artificial intelligence (AI)?, 2024. Available online: <https://www.ibm.com/think/topics/artificial-intelligence> [Accessed 05.01.2025]
2. Artificial intelligence in video games. Available online: https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial_intelligence_in_video_games [Accessed 05.01.2025]
3. How Many Gamers Are There? (New 2025 Statistics). Available online: <https://explodingtopics.com/blog/number-of-gamers> [Accessed 05.01.2025]
4. Procedural Generation: An Overview, 2021. Available online: <https://kentpawson123.medium.com/procedural-generation-an-overview-1b054a0f8d41> [Accessed 05.01.2025]
5. AI-Driven Automated Game Testing, 2024. Available online: <https://www.ixiegaming.com/blog/ai-driven-automated-game-testing/> [Accessed 11.01.2025]
6. From bugs to brilliance: AI's impact on game testing, 2024. Available online: <https://www.datacenters.com/news/from-bugs-to-brilliance-ai-s-impact-on-game-testing> [Accessed 11.01.2025]

DOMAIN-SPECIFIC LANGUAGE FOR MODELING HISTORICAL TIMELINES

**Ion COBZARI, Alexandra CRUDU, Mihai GURDUZA*,
Sava LUCHIAN, Cosmin UȘURELU,**

*Department of Software Engineering and Automation, group FAF-233, Faculty of Computers, Informatics and
Microelectronics, Technical University of Moldova, Chișinău, Republic of Moldova*

*Corresponding author: Mihai Gurduza, mihai.gurduza@isa.utm.md

Tutor/coordinator: Mariana CATRUC, university lector

Abstract. *Historical timelines have problems with imprecise dates, limited granularity, linearity, and a lack of support for temporal relationships, which reduces their efficiency for teaching and analysis. This paper introduces a custom domain-specific language (DSL) made to solve these challenges by providing accurate and consistent modeling of historical timelines. The DSL allows users to define events and periods with varying degrees of precision: by year, month, or exact date, and to connect them using relational links. The DSL is defined using a formal grammar which includes lexical rules, syntactic structures, and semantic rules specific to timeline representation. It supports key features such as importance levels for visual differentiation, conditional logic, loops for iteration, and symbolic modification of timeline elements. Parse trees are used to validate syntactic structure and demonstrates how timeline components are organized and interpreted by the language while ensuring that the language remains expressive and consistent. Through its design, the DSL has the goal to reduce the barriers that limit timeline construction in academic and educational contexts.*

Keywords: *data visualization, domain-specific language, educational tool, temporal representation, timeline modeling*

Introduction

Timelines are graphical representations of certain time periods, having events marked on them in chronological order. In the last two and a half centuries, since they were officially invented, they have not changed much and have only been studied more seriously recently [1].

Multiple approaches to digitizing traditional methods for timeline creation are currently explored, one of them being the use of a domain-specific language (DSL). The presented approach focuses on offering a solid foundation of a DSL for representing historical data consistently while keeping in mind the challenges present in the modern academic environment.

Domain Analysis

Timelines are widely used in many fields such as history, education, research. The process of timeline construction involves not just data collection but also complex decision-making about temporal relationships and visual representation such as manually drawing elements, calculating correct scaling and spacing, adjusting visual alignments, and reformatting the entire layout when changes are needed [2].

Besides this, humans struggle with ordering chronological data. Out of 246 students which were asked to place 32 events on a timeline during a study, 16.6% misplaced more than half of the events, receiving a negative score [3].

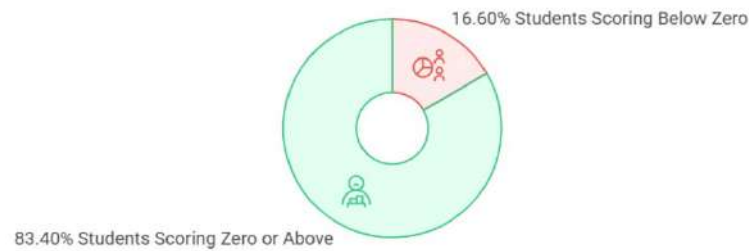


Figure 1. Distribution of students' performance in chronological ordering test

The large number of students with negative scores and the average score of 36.9 out of 100 show that it is easy to make minor mistakes when working with temporal data [3].

Requirements Analysis

By analyzing existing timeline tools and challenges, several requirements for the DSL were identified. The language must support varying levels of temporal precision and uncertainties, allowing users to specify events by year, month, or exact date. This flexibility is essential for accurately representing historical data where precise dates may not be available for all events [1].

Besides events, the language must also support the definition of periods with start and end dates, enabling the representation of extended historical processes. Temporal relationships between events and periods form another crucial requirement. This makes the timeline easier to read and navigate for the user [2]. Additionally, the language needs to support different levels of importance for timeline elements, enabling visual differentiation based on historical significance.

Language Overview

Timeline DSL provides a structured approach to timeline creation through a set of language components. At its core, the language operates with four primary types that represent historical data and their relationships. Events represent discrete points in time, each with a specific date, title, and optional importance level. Periods span durations in history, defined by start and end dates, allowing the representation of extended historical processes.

The language implements a flat scope where all declarations exist in the global context, simplifying the mental model for users without programming expertise. The language is mostly declarative, making it resemble a configuration language. Control structures, including conditional statements and loops, enable some dynamic manipulation of timeline elements.

The users interact with a web interface which offers a code editor, syntax highlighting, error handling and a way to copy or download the result as a PNG file or JSON.

Grammar Specification

A BNF example grammar satisfying the requirements from above is provided below:

```

<program> ::= <declaration>* <main-block>?

<declaration> ::= <event-decl> | <period-decl> | <timeline-decl> | <relationship-decl>

<event-decl> ::= "event" ID "{"
               "title" "=" STRING ","
               "date" "=" <date-expr> ";"
               ["importance" "=" <importance> ";"]
               "}"
  
```

```
<period-decl> ::= "period" ID "{"  
  
    "title" "=" STRING ";"  
    "start" "=" <date-expr> ";"  
    "end" "=" <date-expr> ";"  
    ["importance" "=" <importance> ";"]  
    "}"  
  
<timeline-decl> ::= "timeline" ID "{"  
    "title" "=" STRING ";"  
    ID ("," ID)* ";"  
    "}"  
  
<relationship-decl> ::= "relationship" ID "{"  
    "from" "=" ID ";"  
    "to" "=" ID ";"  
    "type" "=" <rel-type> ";"  
    "}"  
  
<date-expr> ::= <full-date> | <month-year> | <year>  
<year> ::= NUMBER ["BCE" | "CE"]  
<month-year> ::= NUMBER "-" <year>  
<full-date> ::= NUMBER "-" <month-year>  
<importance> ::= "high" | "medium" | "low"  
<rel-type> ::= "cause-effect" | "contemporaneous" | "precedes" | "follows" | "includes" |  
"excludes" | STRING  
  
<main-block> ::= "main" "{" <statement>* "}"  
<statement> ::= <export> | <if> | <for> | <modify>  
<export> ::= "export" ID ";"  
<if> ::= "if" "(" <condition> ")" "{" <statement>* "}" ["else" "{" <statement>* "}" ]  
<for> ::= "for" ID "in" ID "{" <statement>* "}"  
<modify> ::= "modify" ID "{" (<property> "=" <expr> ";")+ "}"  
  
<condition> ::= <expr> <op> <expr> | ID | BOOL  
<op> ::= "==" | "!=" | "<" | ">" | "<=" | ">="  
<expr> ::= ID | STRING | <date-expr> | NUMBER | ID "." <property>  
<property> ::= "title" | "date" | "start" | "end" | "importance" | "type" | "year" | "month" |  
"day"
```

The DSL's grammar, implemented using ANTLR4, provides a formal base for timeline representation. The lexical structure includes keywords which reflect the domain vocabulary, such as 'event', 'period', and 'relationship'. Dates offer BCE/CE notation and are represented using the traditional Gregorian calendar since it currently is the most used calendar in the world [4].

Code Example

The snippet from Fig. 2 demonstrates the DSL's capabilities in combining some declared components into a timeline, modifying the importance of some components and exporting a visualization of it:

```

timeline spaceRace {
  title = "The Space Race (USA vs USSR)";
  sputnik1, gagarin, apollo11, voyager1;
}

main {
  for item in spaceRace {
    if (item.year < 1960) {
      modify item {
        importance = high;
      }
    }
  }
  export spaceRace;
}

```

Figure 2. Code snippet written using Timeline DSL

Using ANTLR4 and the previous grammar definition for the code snippet from Fig. 2, the parse tree from Fig. 3 is created. It represents the syntactic structure of the input code, while showing that it is mostly a flat language outside the main block due to the declarative nature of the language.

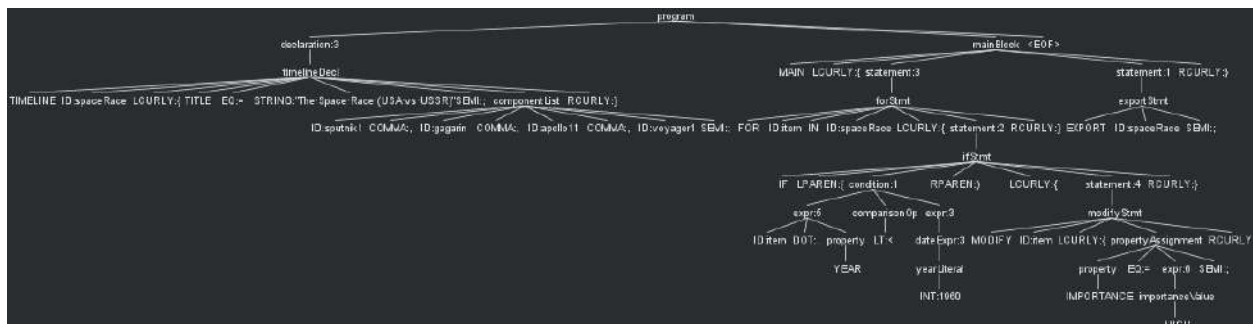


Figure 3. Parse tree

Implementation

The implementation of the Timeline DSL uses Python's ecosystem, with ANTLR4 handling parsing and Matplotlib providing visualization capabilities [5]. A custom visitor pattern implementation traverses the Abstract Syntax Tree, interpreting and executing the program's logic while validating the data. In Fig. 4 the visualization method handles layout management in order to solve overlaps, identify label placement, do importance-based styling draw relationships and produce the output image.

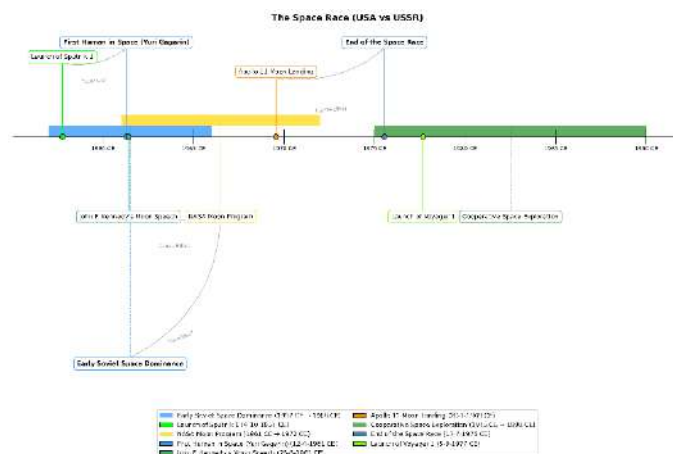


Figure 4. Visualization result for a sample of events and periods

Conclusions

Timeline DSL successfully addresses the main challenges of historical timeline creation through its formal grammar, flexible date representation, and relationship modeling capabilities.

Future development could expand the language's capabilities by supporting additional calendar systems or by expanding visualization options with a logarithmic time scale. Through its design, Timeline DSL reduces the barriers to timeline construction in academic and educational contexts, offering a powerful tool for history visualization.

It can empower historians, educators and students to focus on content rather than implementation details. By automating the mechanical aspects of timeline creation, the DSL enables more consistent historical documentation. This efficiency gain makes digital timeline creation more accessible to non-technical users.

References

1. BOYD DAVIS, S.; KRÄUTLI, F. Scholarly Chronographics: Can a Timeline Be Useful in Historiography? In European Social Science History Conference; Vienna University, Vienna, Austria, 2014; pp. 1–7.
2. LIPKA, R. Scalable Timeline Visualization. In 2016 9th International Conference on Human System Interactions (HSI); 2016; pp 150–156. <https://doi.org/10.1109/HSI.2016.7529624>.
3. GARIBALDI, E.; GARIBALDI, P. Ordering History Through the Timeline; Working Paper 11202; IZA Discussion Papers, 2017; pp. 8–15. <https://hdl.handle.net/10419/177006>.
4. REINGOLD, E.M.; DERSHOWITZ, N. Calendrical Calculations: The Ultimate Edition, 4th ed.; Cambridge University Press, 2018; p. 84. <https://doi.org/10.1017/9781107415058>.
5. Timeline with lines, dates, and text — Matplotlib 3.10.3 documentation. Available online: https://matplotlib.org/stable/gallery/lines_bars_and_markers/timeline.html (accessed 2025-05-10).

O ABORDARE MODERNĂ A ARHITECTURII SOFTWARE: MONOLITUL MODULAR

Constantin BARGAN, Adina PÎNTEA, Maria SADOVOI*

Departamentul Ingineria Software și Automatică, gr. TI-241M, Facultatea de Calculatoare, Informatică și
Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

*Autor corespondent: Maria SADOVOI , e-mail: maria.sadovoi@isa.utm.md

Coordonatorul științific Pavel CHIREV, dr., UTM

Rezumat. În cadrul articolului se analizează arhitectura monolit modular ca fiind o soluție intermediară între arhitectura monolitică tradițională și cea bazată pe microservicii. Se descrie evoluția acestei arhitecturi, evidențiindu-se, atât avantajele, cât și limitările acestei abordări. Se discută principiile de organizare, modul în care modulele izolate comunică prin API-uri bine definite, cum aceasta contribuie la reducerea interdependențelor și cum limitele modulare clare sunt esențiale în succesul impelmentării arhitecturii. Articolul se finisează cu o comparație a aspectelor performanței între arhitectura monolitului modular și arhitectura microserviciilor.

Cuvinte cheie: monolit modular, microservicii, scalabilitate, migrare architecturală, modularitate internă

Introducere

Într-un mediu de dezvoltare software aflat într-o continuă evoluție, alegerea arhitecturii adecvate pentru o aplicație reprezintă o decizie esențială, care influențează succesul acesteia. Dezvoltatorii se confruntă cu provocarea de a găsi un echilibru între scalabilitate, întreținere și performanță, mai ales pe măsură ce aplicațiile devin mai complexe. Tradițional, arhitecturile monolitice și cele bazate pe microservicii au fost opțiunile dominante, fiecare prezentând avantaje și dezavantaje clare.

Arhitectura monolitică, cunoscută pentru simplitatea sa, este adecvată aplicațiilor mici, însă devine dificil de întreținut și scalat pe măsură ce dimensiunea bazei de cod crește. În schimb, arhitectura bazată pe microservicii permite scalarea independentă a componentelor și oferă flexibilitate sporită, însă vine cu o complexitate operațională semnificativă. Aceste aspecte a dus la apariția unor soluții, care încearcă să îmbine avantajele ambelor arhitecturi.

Monolitul modular reprezintă o astfel de soluție inovatoare. Această arhitectură păstrează simplitatea desfășurării unui sistem monolitic, organizând în același timp codul în module distincte, fiecare având o funcționalitate clar definită și comunicând prin interfețe bine stabilite. Prin această abordare, monolitul modular adresează problemele legate de scalabilitate și întreținere ale monoliților tradiționali, evitând însă complexitatea caracteristică microserviciilor.

Această cercetare își propune să exploreze principiile, avantajele și strategiile de implementare ale arhitecturii monolitului modular. Printr-o analiză detaliată, articolul evidențiază contextul în care această arhitectură se remarcă drept o soluție echilibrată pentru organizații. Pe parcursul studiului, sunt discutate întrebările esențiale legate de aplicabilitatea, limitele și modul de integrare a monolitului modular în dezvoltarea modernă. De asemenea, sunt revizuite rezultatele cercetărilor anterioare, fie pentru a le extinde, fie pentru a oferi o perspectivă alternativă.

Context despre Arhitecturile Software

Arhitectura monolitică este o abordare tradițională în care toate funcționalitățile unei aplicații sunt integrate într-o singură bază de cod, desfășurată ca o unitate. Aceasta funcționează bine pentru aplicațiile mici sau echipele mici, datorită structurii clare, dar pe măsură ce aplicația crește, devine dificil de gestionat. Modificările într-o parte a sistemului pot afecta alte părți, iar scalarea presupune creșterea întregii aplicații, chiar și atunci când doar o funcționalitate necesită mai multe resurse. În plus, procesul de actualizare devine complex, iar riscurile de erori în desfășurare cresc.

Arhitectura microserviciilor oferă o alternativă, divizând aplicațiile în servicii independente care pot fi scalate și actualizate separat. Aceste servicii sunt izolate, astfel încât un eșec într-un serviciu nu afectează întreaga aplicație. Microserviciile permit alocarea eficientă a resurselor și o mai mare flexibilitate în dezvoltare, dar introduc complexități legate de gestionarea sistemelor distribuite, rețele și orchestrare. De asemenea, comunicarea între servicii poate adăuga latență și poate necesita instrumente avansate de DevOps, precum Docker și Kubernetes.

Monolitul modular combină avantajele monolitului și ale microserviciilor. Aplicația este desfășurată ca o unitate, eliminând complexitatea orchestrării, dar este organizată în module distincte, fiecare având o funcționalitate specifică. [1] Aceste module comunică prin API-uri interne, reducând interdependențele și facilitând optimizarea. Deși scalarea se face pentru întreaga aplicație, limitele clare ale modulelor permit dezvoltatorilor să îmbunătățească părți specifice ale sistemului, fără a compromite întreaga aplicație.

Astfel, un monolit modular simplifică dezvoltarea și desfășurarea și poate fi un pas intermediar eficient pentru o eventuală tranziție către microservicii. Totuși, menținerea unor limite modulare bine gestionate este esențială pentru a evita ca aplicația să devină prea strâns legată, similar cu un monolit tradițional.

Principiile de bază ale monolitului modular

Monolitul modular combină avantajele unui monolit cu cele ale arhitecturii modulare, oferind un echilibru între simplitate și scalabilitate. În această arhitectură, aplicația este structurată în module izolate, fiecare responsabil pentru o funcționalitate specifică, cum ar fi autentificarea sau gestionarea stocurilor.

Deși modulele sunt independente, întregul sistem este desfășurat ca o unitate unică, ceea ce simplifică procesul de livrare și reduce complexitatea, eliminând necesitatea comunicării între servicii, cum se întâmplă în microservicii. Acesta este un avantaj important, deoarece reduce latența și punctele de eșec, iar gestionarea unei singure desfășurări este mai ușor de realizat.

Fiecare modul își gestionează propria logică și date, iar comunicarea între module se face prin API-uri bine definite. Aceste interfețe clare asigură că modulele rămân izolate, iar modificările într-un modul nu afectează întregul sistem. [2] Această abordare permite echipelor de dezvoltare să lucreze în paralel la module diferite, reducând suprasarcina de coordonare.

Comunicarea între module se face prin API-uri interne sau prin sisteme de mesagerie, evitând legăturile strânse și minimizând dependențele directe. Astfel, fiecare modul poate opera independent, dar poate colabora cu celelalte atunci când este necesar, menținând modularitatea și simplificând depanarea. Această structură poate fi observată mai detaliat în figura 1.

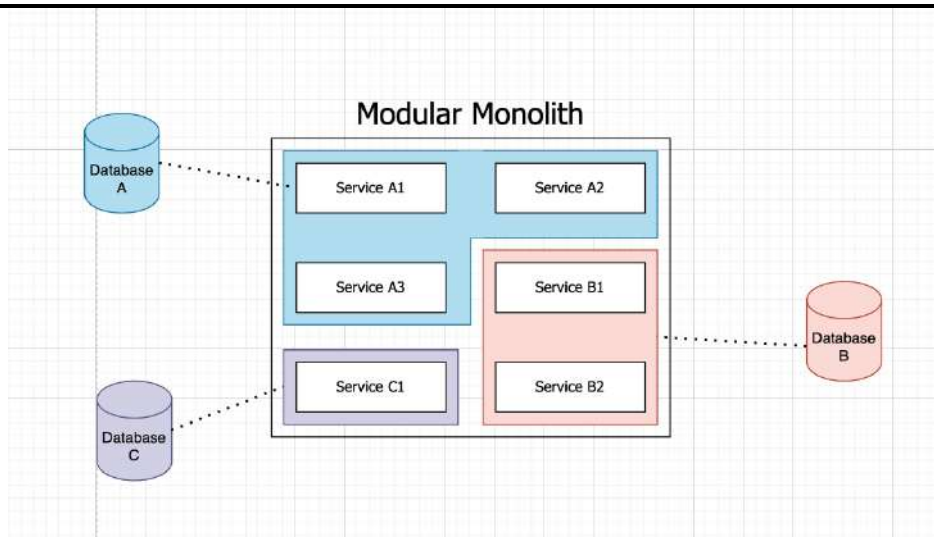


Figura 1. Structura arhitecturii monolit modulară [2]

Aceste principii ajută la construirea unor aplicații scalabile, care pot fi extinse cu ușurință, fără a introduce complexități suplimentare. Modulul modular oferă o soluție eficientă pentru echipele de dezvoltare care doresc să îmbine avantajele monolitului cu cele ale modularității, simplificând atât productivitatea, cât și întreținerea pe termen lung.

Proiectarea unui Monolit Modular

Proiectarea unui monolit modular presupune o organizare clară a codului, cu module distincte și limitate, pentru a reduce dependențele și a permite echipelor să lucreze simultan pe diferite părți ale aplicației. Utilizarea practicilor Designului Centrat pe Domeniu (DDD) ajută la definirea acestor module, fiecare reprezentând un domeniu de afaceri specific, de exemplu: comenzi, plăți și inventar, într-o aplicație de comerț electronic. Fiecare modul poate adopta o arhitectură stratificată, cu separarea clară a responsabilităților.

Pentru a implementa aceste practici, se recomandă utilizarea spațiilor de nume logice, cum ar fi **App.Modules.Comenzi** sau **App.Modules.Plati**, iar modulele ar trebui să comunice doar prin API-uri sau interfețe definite. Acest lucru previne legăturile strânse între module, simplificând întreținerea și scalabilitatea aplicației. [3]

În ceea ce privește gestionarea datelor, se poate utiliza o singură bază de date, cu partiționare logică, fie pe scheme, fie pe tabele, pentru a izola datele fiecărui modul. Aceasta permite fiecărui modul să-și gestioneze propriul strat de acces la date și să prevină accesul direct din alte module.

Pentru testare, fiecare modul trebuie să aibă teste unitare proprii, iar testarea integrării este esențială pentru a verifica interacțiunile dintre module.

În rezumat, un monolit modular bine proiectat asigură o întreținere eficientă și o scalabilitate ușoară, pregătind aplicația pentru o eventuală migrare către microservicii.

Avantajele și limitările Arhitecturii Monolit Modulare

Arhitectura monolitului modular oferă o soluție atractivă pentru multe aplicații software, dar este esențial să se analizeze atât beneficiile, cât și provocările pe care le implică. Această abordare combină caracteristicile unui sistem monolitic cu cele ale modularității, ceea ce permite dezvoltatorilor să construiască aplicații scalabile și ușor de întreținut. Tabelul 1 evidențiază principalele avantaje și limitări ale monolitului modular.

Avantajele și limitările monolit-ului modular

Avantaje	Limitări
Aplicația este desfășurată ca o tot unitar, reducând complexitatea.	Scalarea unui modul necesită scalarea întregii aplicații.
Modulele sunt izolate, permițând modificări locale fără a afecta întregul sistem.	Dependențe în timp: limitele modulare pot deveni neclare, subminând beneficiile modularității.
Echipele pot lucra în paralel pe module diferite, reducând dependențele.	În proiectele mari, conflictele de implementare pot afecta eficiența.
Reduce necesarul de instrumente operaționale pentru echipele mici sau resurse limitate.	Dificultăți în menținerea modularității odată cu creșterea aplicației.

Deci, monolitul modular reprezintă o soluție practică pentru aplicațiile care necesită o implementare simplă și o întreținere eficientă, având beneficii evidente precum gestionarea unitară, izolarea funcțională a modulelor și reducerea dependențelor dintre echipe. Totuși, limitările sale, precum dificultatea scalării selective și riscul de a pierde claritatea modularității în timp, trebuie luate în considerare, mai ales pentru proiectele mari sau cele cu cerințe dinamice. Alegerea acestei arhitecturi depinde de specificul aplicației și de resursele disponibile.

Compararea arhitecturii monolit modulare cu arhitectura bazată pe microservicii

Arhitectura monolitului modular și cea bazată pe microservicii sunt două abordări frecvent utilizate în dezvoltarea aplicațiilor software. Alegerea dintre ele depinde de complexitatea proiectului, resursele disponibile și cerințele de scalabilitate.

Monolitul modular este preferat pentru aplicațiile mai simple sau pentru cele aflate la început, în timp ce microserviciile devin o opțiune viabilă pe măsură ce aplicațiile cresc în complexitate și cerințele de performanță cresc. Figura 2 ilustrează diferențele esențiale între cele două arhitecturi, oferind o comparație clară a aspectelor precum complexitatea operațională, flexibilitatea, scalabilitatea și costurile asociate.

Graficul evidențiază că monolitul modular presupune o implementare mai simplă și costuri reduse de operare, fiind potrivit pentru proiectele mici și medii. Pe de altă parte, microserviciile sunt mai complexe din punct de vedere operațional și necesită resurse semnificative pentru DevOps, însă oferă o scalabilitate superioară și flexibilitate în dezvoltare. [4]

Monolitul modular reprezintă un punct de plecare solid pentru multe organizații, permițând dezvoltarea rapidă și întreținerea ușoară a aplicațiilor. Oferă avantaje importante cum ar fi mai puține dependențe operaționale și o complexitate redusă a managementului infrastructurii comparativ cu microserviciile, care pot necesita configurații complexe și un management intensiv al interdependențelor între servicii.

În timp, pe măsură ce cerințele de scalabilitate cresc, migrarea treptată către microservicii poate fi o strategie eficientă. Acest proces permite organizațiilor să se adapteze la cerințele dinamice ale pieței și să gestioneze mai eficient resursele într-un mediu distribuit. [5] Scalabilitatea și flexibilitatea microserviciilor sunt ideale pentru companiile care se așteaptă la o expansiune semnificativă, oferindu-le capacitatea de a gestiona diverse componente ale sistemului în mod independent și eficient.

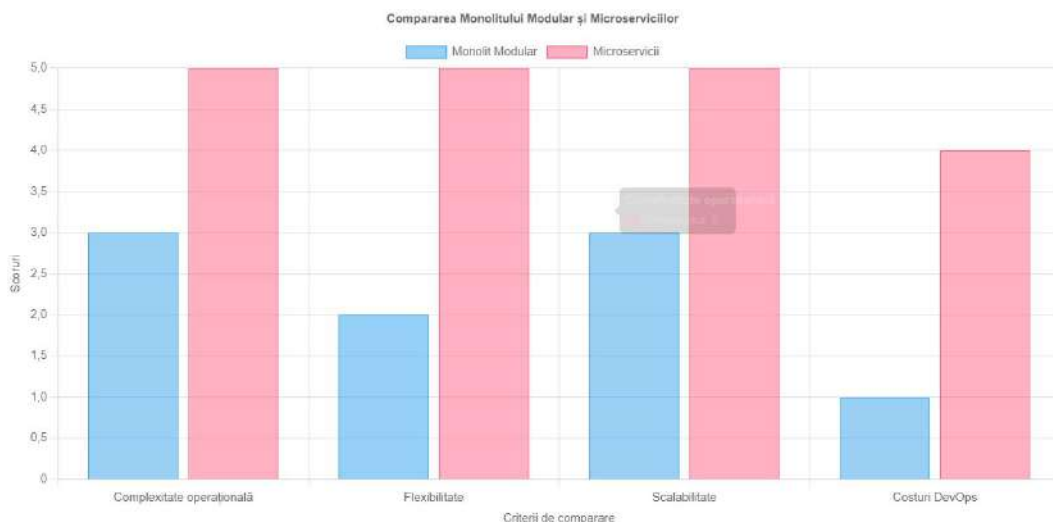


Figura 2. Compararea arhitecturilor Monolit Modular și Microserviciile [6]

Alegerea corectă a arhitecturii depinde de specificul fiecărui proiect și de obiectivele pe termen lung ale organizației. Factorii critici în această decizie includ costurile de dezvoltare și întreținere, experiența echipei tehnice și obiectivele strategice pe termen lung. Evaluarea atentă a acestor elemente va determina cea mai adecvată arhitectură pentru a satisface nevoile de afaceri, maximizând eficiența și minimizând riscurile operaționale.

Studiu de caz

În dezbateră continuă dintre arhitecturile monolitice modulare și microservicii, tot mai multe dovezi sugerează că arhitectura monolitică modulară reprezintă o alegere superioară pentru multe organizații. Deși microserviciile sunt adesea apreciate pentru scalabilitatea și flexibilitatea lor, acestea introduc o complexitate semnificativă și dificultăți de mentenanță care pot fi dăunătoare pentru companiile mici sau medii. Miłosz Lenczewski (2022) argumentează că efortul suplimentar asociat cu microserviciile—cum ar fi alocarea resurselor, provocările de depanare și complexitatea operațională—depășește adesea beneficiile, cu excepția cazurilor în care o companie atinge o scară extinsă, similară platformelor precum Netflix sau Shopify. [7]

Arhitectura monolitică modulară împarte o aplicație în module independente, dar coezive, fiecare având propria logică și comunicând prin API-uri bine definite. Acest design îmbunătățește în mod inerent mentenabilitatea și scalabilitatea, evitând în același timp capcanele structurilor monolitice tradiționale. Pentru proiectele mai mici sau pentru cele care anticipează traiectorii de creștere predictibile, acest model oferă o abordare echilibrată fără a se confrunța cu complexitățile tipice microserviciilor. Spre deosebire de arhitecturile microservicii proiectate prost—care pot degenera în „monolituri distribuite”—monoliturile modulare mențin simplitatea oferind în același timp caracteristici esențiale de scalabilitate. [8]

În plus, implementările de succes realizate de lideri din industrie, precum GitLab și Shopify, subliniază eficiența arhitecturilor monolitice modulare în aplicațiile din lumea reală. Aceste organizații au demonstrat că este posibil să se obțină atât performanțe robuste, cât și o complexitate gestionabilă fără a recurge la o arhitectură complet bazată pe microservicii. [9] Prin urmare, pentru multe companii care navighează prin faze de creștere sau care caută o gestionare eficientă a resurselor, adoptarea unei strategii bazate pe monolituri modulare pare nu doar pragmatică, ci și strategic avantajoasă.

Arhitectura modulară monolitică a devenit o alternativă atractivă la arhitecturile tradiționale monolitice și microservicii, în special în companii precum Shopify, GitLab și Slack. Acest tipar arhitectural împarte codurile mari în componente mai mici și independente, menținând în același timp o strategie unificată de implementare. După cum demonstrează

Ozkaya, arhitectura modulară monolitică oferă avantaje semnificative în ceea ce privește scalabilitatea și gestionabilitatea, comparativ cu predecesoarele sale. Cu toate acestea, în ciuda beneficiilor potențiale, lipsește o cercetare cuprinzătoare care să detalieze implementarea sa specifică în cadrul acestor organizații. [9]

Examinând implementarea arhitecturii modulare monolitice de către Shopify, devine evident că compania a făcut progrese în îmbunătățirea rezilienței și performanței sistemului. Conform unui articol publicat de Shopify, abordarea lor implică divizarea unui cod Ruby on Rails masiv în componente gestionabile, adaptate domeniilor specifice de afaceri. [10]

Deși această strategie ajută, se pare, la gestionarea evenimentelor cu trafic intens—precum Black Friday—nu au fost furnizate rezultate cantitative explicite care să demonstreze îmbunătățirile de performanță (Shopify, 2024). Absența acestor metrice detaliate limitează înțelegerea eficienței acestei arhitecturi în contexte reale.

Mai mult, Barde subliniază că alegerile arhitecturale, de unele singure, nu garantează succesul; dinamica echipei și comunicarea joacă роли importante în rezultatele dezvoltării software. [11] Această perspectivă evidențiază necesitatea de a investiga modul în care organizații precum GitLab și Slack integrează cultura echipei cu strategiile arhitecturale. În cele din urmă, deși arhitectura modulară monolitică promite să fie un model arhitectural eficient, sunt necesare cercetări mai concentrate pentru a elucida implicațiile sale practice în diverse companii.

Rezultate

Constatările acestui studiu de caz evidențiază superioritatea arhitecturii modulare monolitice pentru multe organizații, în special în contrast cu microserviciile. Deși microserviciile sunt adesea apreciate pentru scalabilitatea și flexibilitatea lor, ele introduc o complexitate semnificativă și provocări de întreținere, care pot fi dăunătoare pentru companiile mici și mijlocii. După cum subliniază Miłosz Lenczewski (2022), eforturile suplimentare asociate microserviciilor—cum ar fi alocarea resurselor, provocările de depanare și complexitățile operaționale—depășesc adesea beneficiile, mai ales dacă o companie nu atinge o scară extensivă, similară cu platforme precum Netflix sau Shopify.

Studiul de caz a analizat implementarea monolitului modular în diferite organizații, punând accent pe adaptabilitatea și eficiența acestuia în gestionarea complexității crescute a aplicațiilor. Unul dintre rezultatele semnificative a fost demonstrarea modului în care arhitectura monolit modular poate reduce timpul de dezvoltare și costurile operaționale comparativ cu microserviciile, datorită simplificării proceselor de integrare și testare.

Analiza a arătat că, în cazul monolitului modular, modificările de cod pot fi implementate rapid, datorită structurii interne bine organizate și a comunicațiilor eficiente între module. Aceasta facilitează o mai bună colaborare între echipe și o scalare eficientă a funcționalităților fără a afecta întregul sistem. De exemplu, în cazul unei funcționalități critice, cum ar fi procesarea plăților, acesta poate fi îmbunătățit independent de restul aplicației, minimizând riscurile de eroare și downtime.

O altă descoperire importantă a fost reziliența arhitecturii monolit modulare în perioade de trafic intens. Studiul de caz a evidențiat că sistemele bazate pe această arhitectură au menținut performanțe stabile chiar și sub sarcini mari, spre deosebire de arhitecturile microservicii, care pot suferi de latențe datorită complexităților rețelei și comunicațiilor inter-servicii. În exemplul Shopify, implementarea monolitului modular a permis companiei să gestioneze eficient vârfurile de trafic de pe durata evenimentelor de vânzări majore, precum Black Friday.

Arhitectura monolit modular a demonstrat o capacitate remarcabilă de a se adapta la nevoile în schimbare ale afacerilor fără restructurări majore ale sistemului. Aceasta oferă o cale de migrație fluidă spre arhitecturi mai descentralizate, cum ar fi microserviciile, dacă este necesar. În acest fel, organizațiile pot începe cu un sistem monolit modular și pot trece treptat la microservicii pe măsură ce cerințele de scalabilitate și complexitate ale afacerii cresc.

Rezultatele cercetării subliniază că arhitectura monolit modular este o soluție viabilă și robustă pentru companiile care caută un echilibru între eficiența operatională și capacitatea de a scala. Această abordare permite o mai bună gestionare a resurselor și o reducere a complexității, făcând-o ideală pentru organizațiile care încă nu sunt pregătite să adopte o arhitectură complet bazată pe microservicii datorită costurilor asociate sau a complexității operaționale. Astfel, monolitul modular se profilează ca o strategie intermediară eficientă, oferind fundamente solide pentru creșterea viitoare a aplicațiilor.

Concluzii

Cercetarea reflectă considerații importante asupra beneficiilor și limitărilor abordării arhitecturii monolitului modular ca un hibrid între structura tradițională monolitică și arhitectura bazată pe microservicii. Prin analiza detaliată a avantajelor, precum simplificarea procesului de dezvoltare și desfășurare, și a limitărilor, cum ar fi scalarea dificilă a modulelor individuale, studiul oferă o perspectivă valoroasă asupra potențialului monolitului modular de a echilibra flexibilitatea cu controlul.

Abordarea modulară permite o separare clară și gestionabilă a responsabilităților în cadrul unei aplicații, facilitând astfel mentenanța și scalarea acesteia. Într-un mediu unde eșecurile izolate nu compromit întregul sistem și unde actualizările pot fi efectuate cu agilitate, arhitectura monolit modulară se dovedește a fi o soluție eficientă pentru multe organizații, în special cele care nu necesită complexitatea unei arhitecturi de microservicii.

Pe măsură ce nevoile de scalabilitate și flexibilitate cresc, monolitul modular poate servi ca un punct de tranziție natural către o arhitectură bazată pe microservicii, oferind organizațiilor timpul și experiența necesară pentru a aborda provocările asociate cu microserviciile. Astfel, acesta nu numai că simplifică gestionarea și operarea curentă, dar pregătește și terenul pentru evoluții viitoare, fără a compromite stabilitatea și performanța pe termen scurt.

De asemenea, studiul subliniază importanța unui echilibru între independența modulară și nevoia de a menține o coeziune și o comunicare eficientă între module, punctând că succesul implementării monolitului modular depinde în mare măsură de claritatea și de consistența interfețelor API între module. În acest context, utilizarea practicilor de Design Centrat pe Domeniu (DDD) și a unui model de organizare clar pot contribui substanțial la eficacitatea arhitecturală.

Arhitectura monolit modulară reprezintă o opțiune promițătoare pentru companiile care caută să îmbine beneficiile gestionării simplificate a monolitului tradițional cu avantajele modularității. Prin echilibrarea acestor aspecte, organizațiile pot maximiza eficiența și pot pregăti calea pentru soluții de scalare mai avansate, adecvate necesităților emergente într-un peisaj tehnologic în continuă schimbare.

În cele din urmă, deși arhitectura modulară monolitică reprezintă o alternativă convingătoare la modelele monolitice tradiționale și de microservicii, cercetările viitoare ar trebui să se concentreze pe oferirea unor perspective mai profunde asupra aplicațiilor sale practice și asupra implicațiilor sale pe termen lung în diverse contexte organizaționale. Acest lucru va permite o înțelegere mai cuprinzătoare a potențialului său de a stimula eficiența, scalabilitatea și inovația în dezvoltarea software.

Referințe

1. Modular Monolith: A Better Way to Build Software. ThoughtWorks Insights. [online]. [accesat: 14.03.2025] Disponibil la: <https://www.thoughtworks.com/insights/blog/microservices/modular-monolith-better-way-build-software>.
2. GRZYBEK, K. (2019). Modular Monolith Primer. [online]. [accesat: 17.03.2025] Disponibil la: <https://www.kamilgrzybek.com/blog/posts/modular-monolith-primer>.

3. JOVANOVIĆ, M. (2024). What is a Modular Monolith? [online]. [accesat: 18.03.2025] Disponibil la: <https://www.milanjovanovic.tech/blog/what-is-a-modular-monolith>.
4. Fullstack Labs. *Modular Monolithic vs. Microservices*. [online]. [accesat: 20.04.2025] Disponibil la: <https://www.fullstack.com/labs/resources/blog/modular-monolithic-vs-microservices>.
5. GeeksforGeeks. *What is Modular Monolith*. [online]. [accesat: 20.04.2025] Disponibil la: <https://www.geeksforgeeks.org/what-is-a-modular-monolith/zcx>.
6. LENCZEWSKI, M.; AGAMEZ, S.; Ger. *What is better? Modular Monolith vs Microservices*. [online]. [accesat: 20.04.2025] Disponibil la: <https://medium.com/codex/what-is-better-modular-monolith-vs-microservices-994e1ec70994>.
7. Monolith vs Microservices vs Modular Monoliths: What's the Right Choice. [online]. [accesat: 20.04.2025] Disponibil la: <http://blog.bytebytego.com/p/monolith-vs-microservices-vs-modular>
8. StackExchange. *Modular monolith vs microservices for hybrid multi-tenancy*. [online]. [accesat: 20.04.2025] Disponibil la: <https://softwareengineering.stackexchange.com/questions/432316/modular-monolith-vs-microservices-for-hybrid-multi-tenancy>.
9. OZKAYA, M. *Modular Monoliths: Revolutionizing Software Architecture*. [online]. [accesat: 20.04.2025] Disponibil la: <https://www.ijcttjournal.org/archives/ijctt-v71i10p103>.
10. OZKAYA, M. *Shopify's Modular Monolithic Architecture: A Deep Dive*. [online]. [accesat: 20.04.2025] Disponibil la: <https://mehmetozkaya.medium.com/shopifys-modular-monolithic-architecture-a-deep-dive-%EF%B8%8F-a2f88c172797>.
11. BARDE, K. *Stop blaming code. Start fixing team health*. [online]. [accesat: 20.04.2025] Disponibil la: <https://testdouble.com/insights/rails-world-eileen-uchitelle-team-culture-over-architecture>.

GRAPHIXLANG. A BATCH IMAGE PROCESSING DSL

Victoria MUTRUC*, Maxim ALEXEI, Adrian VREMERE, Gabriel MORARU

Department of Software Engineering and Automation, group FAF-232, Faculty of Computers, Informatics and Microelectronics, Technical University of Moldova, Chişinău, Republic of Moldova

*Corresponding Author: Victoria Mutruc, victoria.mutruc@isa.utm.md

Tutor/Coordinator: Patricia CAPITAN, university assistant, Department of Software Engineering and Automation, Faculty of Computers, Informatics and Microelectronics, Technical University of Moldova, Chişinău, Republic of Moldova

Abstract. *Nowadays, the demand for quality image processing for large volumes of content in domains like web development, e-commerce, photography, social media management and data science is constantly increasing. Image processing tasks like cropping, resizing, changing format tend to become repetitive and error prone if done by hand repeatedly. As the volume of content grows, so do the operational costs and inconsistent results, which eventually leads to lack of productivity. Previous research on batch image processing is focused on either complex performance optimized solutions or command-line scripting solutions, therefore resulting in a gap for users in the need of both simplicity and power. The purpose of this paper is to introduce a new batch image processing solution: GraphixLang, that prioritizes simplicity, readability, and is accessible to both technical and non-technical users, while still offering advanced capabilities for professionals. Therefore, the DSL ensures the automation of the imagery preprocessing pipeline for web development and other domains, with the aid of normalization, resizing, and augmentation of thousands of images in a batch.*

Key words: *dsl, image, processing, batch, web-development, photography.*

Introduction

In this digital era, as technology continues to evolve, the demand for high-quality images is constantly growing across many fields like web development, e-commerce, photography, social media management and data science. According to grandviewresearch.com, the digital image processing market size is expected to increase by 19.7% by 2030, reaching \$21.73 billion in value [1]. These industries tend to usually need to process large numbers of images quickly, efficiently and without losing quality. Common tasks like resizing, cropping, changing formats or adding enhancements can become slow, repetitive and prone to errors when done by hand. Although there are some tools for these tasks, many of them are either too complex for everyday users or too limited for professionals. This paper presents GraphixLang, a new domain-specific language created to make batch image processing easier and more efficient.

Brief History of Image Processing

The history of processing images goes back to the 19th century when photographic images were altered by hand with the help of several techniques used in a darkroom. Then, in the 1960s, NASA and JPL tried image clarification of the space through computers and correction algorithms [2], and that began the era of digital image processing. In the 1980s and 1990s, as personal computers were becoming more available to the public, the field of image processing caught more attention, therefore leading to the invention of the famous editing software called Adobe Photoshop in 1990 [3]. Later on, as digital cameras and the internet became more accessible, image processing evolved from very basic tasks like cropping and resizing to more complex tasks such as noise reduction and color correction.

Increasing demand for digitally altered images from commercial sectors such as e-commerce, photography, and social media created an urgent demand for fast and efficient image processing. This led to the development of batch image-processing techniques toward the turn of the century. ImageMagick [4] could allow for automation through command-line scripts, while newer applications such as Adobe Lightroom, Darktable, and Ilastik presented features to visually ease batch image editing. Yet even today, many popular applications such as Photoshop, GIMP, and ImageMagick either require technical skills or limit users. To address these challenges, domain specific languages like Hipacc [5] and Halide [6] have been developed to offer faster processing. However, they focus more on speed and flexibility than on being easy to use, which can make them inaccessible for the general user.

Challenges in Image Processing

Even though there has been some major progress made in image processing software and its corresponding algorithms over the years, numerous challenges still persist. Most of the existing toolsets are designed to work on the edits for one image at a time, making it very slow and inefficient when batch processes need to be performed. Some offer automation but with very limited features or are so complicated that an average user will not know where to start.

Another challenge is performance. High resolution images require a lot of processing power, and processing a bunch of such images can burden even a powerful machine that comes across this problem. A regular laptop and desktop user may also see some lags, crashes, or memory problems.

Scalability is another major concern. Some tools perform well with small sets of images but fail when used for batch processing. There is also the limitation of existing tools in terms of customization. They fail to give users the means of customizability for workflows in different sets of images. Users often struggle and have to default to scripts or third-party software just to get basic batch functionality. This ultimately leads to wasted time, higher costs, and lower productivity.

DSL Overview

GraphixLang was created to address the most common challenges in batch image processing with a simple, powerful, and easy-to-use scripting language. Most traditional tools will take something like conversion to a different format and resizing as two or more separate steps or even programs. GraphixLang puts them all in one readable script. GraphixLang converts between formats PNG and JPEG, with user parameters on compression level and handling of transparency.

Beyond visual adjustments, GraphixLang offers powerful image sorting and optimization features. Bulk operations on folders or image lists make it excellent for managing large datasets. Users can rename images with custom patterns, sort them by metadata like capture date or location or remove or edit EXIF data for privacy. Optimization tools include compression and modern web-friendly formats such as WebP, which are important for fast-loading websites and efficient storage.

Another important benefit is consistency. GraphixLang ensures that all images in a batch are transformed in the same way, leaving little room for manual error and preserving both output quality and format uniformity. Further, its sturdy error handling and logging will notify of unsupported files or mistakes in the script. Compared to alternatives like ImageEye, which utilises program synthesis to process images in bulk [7], GraphixLang provides a simpler to read interface so that users can start working without requiring any in-depth knowledge of programming.

Implementation Tools and Language Design

GraphixLang is a Domain-Specific Language designed for batch processing of images. It was built using Python. The Pillow library is used to deal with editing images, while Piexif is used for reading, modifying and removing EXIF metadata.

GraphixLang uses a custom-parsing solution in C#. The lexer scans the source code and breaks it into tokens. These tokens are then processed by the parser, which builds an Abstract Syntax Tree. The AST then goes through an integration layer that translates the C# components to Python. Finally, the interpreter executes the image processing operations.

The other important part about GraphixLang is that it is designed as an external DSL, meaning that it is not embedded inside Python and has its own very user-friendly syntax. This gives it an image processing specific focus that is much easier to use. The language allows users to write conditional logic and flexible workflows while completely abstracting away from the need to know Python. By keeping the language clean, GraphixLang enables any image operations of increased complexity to be performed quickly and efficiently.

Grammar

Due to the detailed scope of the GraphixLang grammar, this article will focus only on the most essential components that define its structure, logic, and image processing capabilities. The rule in Figure 1 defines how variables are declared in the DSL. It supports both simple declarations and immediate assignments, similar to many traditional programming languages. The allowed variable types include INT, DOUBLE, BOOL, STRING, and PIXEL. Expressions may also be used in declarations, giving users flexibility to compute values dynamically. The third variant - <IMG_DECLARATION> enables defining image paths using string values.

```
<DECLARATION_OP> ::= <VAR_TYPE> <VAR_IDENTIFIER> <EOL> |  
                    <VAR_TYPE> <VAR_IDENTIFIER> <ASSIGN> <EXPRESSION> <EOL> |  
                    <IMG_DECLARATION>
```

Figure 1. <DECLARATION_OP> in Grammar

The <STATEMENTS> and <STATEMENT> rules defined in Figure 2 and Figure 3 showcase the core execution flow of a GraphixLang program. These rules describe how a script is composed of one or more individual statements that execute in sequence. The definition of <STATEMENTS> is recursive.

```
<STATEMENTS> ::= <STATEMENTS> <STATEMENT> |  
                <STATEMENT>
```

Figure 2. <STATEMENTS> in Grammar

It allows the language to support multiple commands in a block, enabling complex batch processing operations. Each <STATEMENT> represents a single instruction in the language. The wide range of supported statement types reflects the flexibility of the GraphixLang DSL.

The statements include not only basic programming constructs such as <DECLARATION_OP>, <ASSIGNMENT_OP> and <CONDITIONAL_OP>, but also domain specific operations for image manipulation. Metadata operations such as <METADATA_OP>, <STRIP_METADATA_OP>, and <ADD_METADATA_OP> support control over image data, while <EXPORT_IMG_OP>, <RENAME_OP>, and <CONVERT_OP> allow for formatting and organization. Advanced features like <WATERMARK_OP>, <HUE_OP>, <WEBOPTIMIZE_OP>, and <QUANTIZE_OP> address real-world needs in photography, e-commerce, and web development. By unifying all these operations under the <STATEMENT> rule, the grammar makes sure that each instruction is

processed in a consistent manner. This approach makes it easy to add new features to the language while preserving compatibility.

```
<STATEMENT> ::= <DECLARATION_OP> |  
                <ASSIGNMENT_OP> |  
                <METADATA_OP> |  
                <FILTER_OP> |  
                <CROP_OP> |  
                <ROTATE_OP> |  
                <FOREACH_OP> |  
                <CONDITIONAL_OP> |  
                <ORIENTATION_OP> |  
                <HUE_OP> |  
                <WATERMARK_OP> |  
                <STRIP_METADATA_OP> |  
                <ADD_METADATA_OP> |  
                <RENAME_OP> |  
                <EXPORT_IMG_OP> |  
                <CONVERT_OP> |  
                <RESIZE_OP> |  
                <COMPRESS_OP> |  
                <BRIGHTNESS_OP> |  
                <CONTRAST_OP> |  
                <OPACITY_OP> |  
                <NOISE_OP> |  
                <BLUR_OP> |  
                <PIXELATE_OP> |  
                <WEBOPTIMIZE_OP> |  
                <QUANTIZE_OP>
```

Figure 3. <STATEMENT> in Grammar

The broad list of operations under <STATEMENT> reflects the language's ability to handle most steps of an image processing pipeline. Transformations such as <BRIGHTNESS_OP>, <CONTRAST_OP>, <OPACITY_OP>, <NOISE_OP>, <BLUR_OP>, and <PIXELATE_OP> allow for detailed visual modifications. Moreover, Structural changes like <RESIZE_OP>, <ORIENTATION_OP>, and <CROP_OP> adapt the image's form for different uses.

Parse Tree Visualization and Grammar Validation

To prove the correct parsing of command structure by GraphixLang, an AST was generated for the sample batch processing script from Figure 4. The AST gives a view of how commands are hierarchically structured in the language to check the logic.

```
{  
  BATCH #mybatch = "images/";  
  FOREACH IMG $img IN #mybatch EXPORT TO "C:/processed_photos/" {  
    SET $img SEPIA;  
    ROTATE $img LEFT;  
    CROP $img (100, 200);  
    INT $width = METADATA $img FWIDTH;  
    COMPRESS $img 80;  
  }  
}
```

Figure 4. Sample Program

Figure 5 shows the AST of a program where a batch of images has been declared and then each image in that batch is subjected to a series of transformations. Higher-level declarations are constituted by a BlockNode, which connects to the root ProgramNode. One

branch represents the batch declaration where the image folder is specified, while the other branch deals with the FOREACH operation used for looping through the images.

Image operations go inside the FOREACH block and are applied to one each image: set filter to sepia (SetFilterNode), rotate (RotateNode), crop to certain dimensions (CropNode), extract metadata into a variable (VariableDeclarationNode and MetadataNode), and compress (CompressNode).

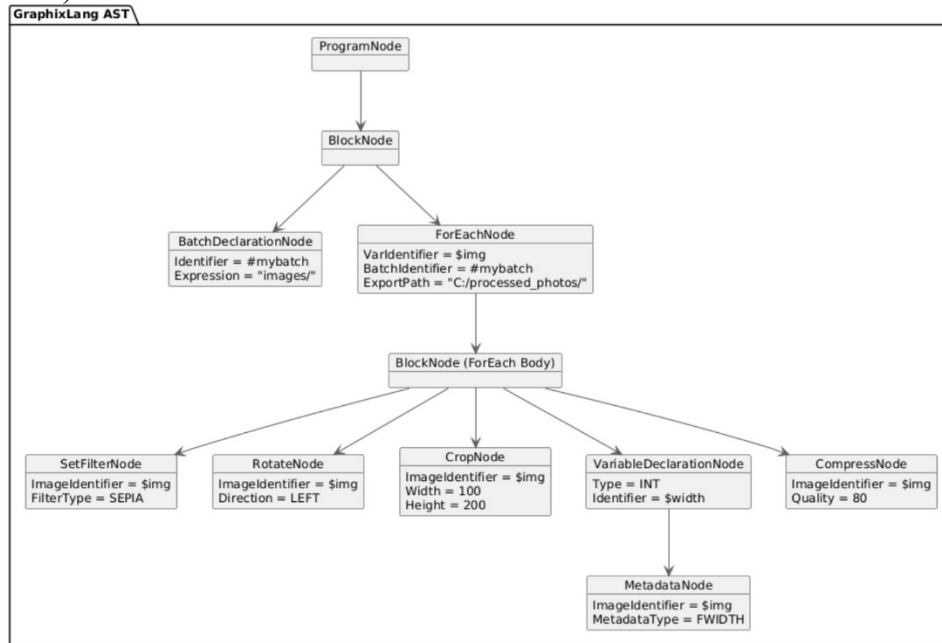


Figure 5. Parse Tree for Sample Program

Each operation in the AST is represented as a node with a child that contains relevant attributes such as identifiers, dimensions, and filter types.

Conclusions

The article introduces GraphixLang, that offers a functional and practical solution to several problems in batch image processing. It is more simple than already existing tools, combining powerful functions and an easy syntax, meaning that it is accessible to both professionals and general users. It has the ability to simplify tasks such as format conversion, resizing, cropping, and optimization, just within a single readable script. This enhances productivity and prevents errors while working, especially in industries that rely on high volumes of visual content like e-commerce, photography, and web development. The DSL also has a well thought-out grammar. User input is easy to both write and comprehend and its structure also ensures these inputs can be correctly parsed and executed behind the scenes. In terms of development, the use of parse trees helped validate the entire structure. Moreover, the custom C# based parser helped with the DSL's performance and debugging. The grammar is straightforward and consistent, applicable for this particular domain.

GraphixLang shows how the domain specific language can be both powerful and accessible. It supports real world scalability and helps to prevent human error. As image processing continues to become more and more important along many digital industries, GraphixLang would be a meaningful solution.

References

1. "Digital Image Processing Market To Reach \$21.73 Bn By 2030." , *Grand View Research*, Accessed: Feb. 20, 2025. [Online]. Available: <https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-digital-image-processing-market>

2. Bovik, A. C. "The Essential Guide to Image Processing." Elsevier, 2009. Available: https://www.academia.edu/36070136/The_essential_guide_to_image_processing?+auto=download.
3. PAGIN, S. "The Evolution Of Photoshop: 25 Years In The Making", 2014. [Online] Available from: <https://www.fastprint.co.uk/blog/the-evolution-of-photoshop-25-years-in-the-making.html>
4. XIA, Z.; MA, L.; CAO, S. "An online image processing approach based on ImageMagick and Imagick," in 2014 International Conference on Information Science, Electronics and Electrical Engineering, Apr. 2014. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6948092>
5. MEMBARTH, R.; REICHE, O.; HANNIG, F.; TEICH, J.; KÖRNER, M.; ECKERT, W. "HIPAcc: A Domain-Specific Language and Compiler for Image Processing," IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, Jan. 2016. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7017495>
6. RAGAN-KELLEY, J. et al., "Halide: decoupling algorithms from schedules for high-performance image processing," Commun. ACM, vol. 61, no. 1. Available from: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3150211>
7. BARNABY, C.; CHEN, Q.; SAMANTA, R.; DILLIG, I. "ImageEye: Batch Image Processing using Program Synthesis," Proc. ACM Program. Available from: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3591248>
8. COJUHARI, I.; DUCA, L.; FIODOROV, I. Formal Languages and Finite Automata. Guide for practical Lessons. Chișinău: Editura Tehnica-UTM, 2022, 120 p. ISBN 978-9975-45-852-8
9. DUCA, L.; COJUHARI, I.; CIORBĂ, D.; COJOCARU, S. Limbaje formale și automate finite. Ghid pentru lecțiile practice. Chișinău: Editura Tehnica-UTM, 2024, 128 pp. ISBN 978-9975-64-381-8.

PLANIFY - DOMAIN SPECIFIC LANGUAGE FOR FLOOR PLANNING

Mihaela UNTU*, Ciprian MOISENCO, Cristian BULAT, Vladislav ȚURCANU

Department of Software Engineering and Automation, group FAF-232, Faculty of Computers, Informatics and Microelectronics, Technical University of Moldova, Chișinău, Republic of Moldova

*Corresponding author: Mihaela UNTU, mihaela.untu@isa.utm.md

Tutor/coordinator: Patricia CAPITAN, university assistant, Department of Software Engineering and Automation, Faculty of Computers, Informatics and Microelectronics, Technical University of Moldova, Chișinău, Republic of Moldova

Abstract. *Planify is a domain-specific language that addresses key challenges in floor planning, thus having a crucial impact on efficiency in architecture and interior design. The purpose of this article is to explore Planify as a language designed for intuitive floor planning, catering to both experienced professionals and amateurs. It aims to offer a low-hardware, easy-to-use alternative to complex software like AutoCAD or 3DsMax. The paper investigates industry needs, language's grammar and syntax implementation, and how it simplifies basic modeling and object placement. Furthermore, the project provides solutions for simplifying workflows for architects, interior designers, real estate agents, and amateurs. It explores the impact of such technology on computational design and suggests means by which Planify can enhance the floor planning process. Finally, the article discusses the impact of this technology on computational design, its potential to enhance floor planning, and the challenges that can be turned into opportunities for both users and developers.*

Keywords: *domain-specific language (DSL), floor planning, computational design, technology, interior design, architecture*

Introduction

In a world affected by accelerated urbanization and demographic growth, the efficient use of space has become a challenge for architects, real estate agents, designers, and engineers. By 2050, it is estimated that approximately 70% of the world's population will live in urban areas [1], which exerts substantial pressure on infrastructure and residential spaces, whereas 80 to 90% of individuals spend their time inside buildings every day [2]. In this regard, floor planning technologies assisted by a computer play an essential role in living, commercial, and industrial space optimization. This research addresses the problem statement: Existing planning software is complex, requires powerful hardware, and makes it difficult to quickly modify client preferences, which not only leads to significant time and resource inefficiencies but also stifles creativity and responsiveness to evolving client needs. A few crucial questions need to be addressed in light of optimizing living, commercial, and industrial spaces: How can users overcome the limitations of existing planning software, and how can a more intuitive approach revolutionize the architectural and real estate industries? To mitigate these challenges, this paper introduces Planify, a Domain-Specific Language designed for lightweight floor planning.

Domain Analysis

In a gradually fast-paced world, the exigency of modern life often contradicts the need for well-functioning and accurate floor planning in architecture, real estate, and construction. The result is a dilemma encountered by professionals across various industries- architects, interior designers, or even property owners who identify as amateurs. A survey conducted by Zillow [3] disclosed that approximately 80% of potential buyers are more predisposed to visit a property if

it has a floor plan they find appealing. Furthermore, over 70% of buyers reckon that the presence of a floor plan helps them understand whether a home meets their needs and is right for them. Planify targets a wide spectrum of users from architects and interior designers to real estate agents, event planners, and even amateurs. By entering the data for the floor dimensions and other specific characteristics, they can automatically generate detailed floor plans, without sketching them manually, which reduces human errors. Also, by integrating a floor planning DSL, businesses and real estate agencies can meet consumer preferences while simplifying their design processes. Ultimately, Planify's focus on time-saving, cost reduction, and error minimization emphasizes its broad applicability across various industries. Such innovation underscores the relevance of the underlying problem with practical and economical implications. It notably affects both amateurs and professionals, both in terms of time and financial costs. Adjusting and creating floor plans manually is time-consuming and laborious. The research has shown that inefficient space planning in various settings can lead to underutilized space and further increased renovation costs.

Grammar and Syntax

The grammar of the language defines the structure for statements and expressions [4, 5]. The primary lexical conventions include case-sensitive identifiers, numeric literals (e.g., "20", identified as meters by default), and string literals (e.g., "kitchen"). The language supports standard arithmetic operators and assignment, and statements are terminated with semicolons. The lexer tokenizes input into identifiers, literals, and operators (e.g., +, -, *, /), while the parser constructs an Abstract Syntax Tree (AST) to ensure accurate interpretation. Moreover, error handling provides detailed feedback on syntax and runtime issues, hence enhanced usability for non-technical users. Furthermore, the syntax of Planify is formally defined using production rules, a standard approach in computer science, often associated with Backus-Naur Form (BNF) [6]. The notation used is summarized in Tab. 1.

Table 1

Symbols and their meanings in production rules

Symbol	Meaning
$\langle \text{foo} \rangle$	<i>foo</i> is a nonterminal.
foo	(in bold font) denotes a terminal (a fixed token or literal).
$[x]$	Zero or one occurrence of <i>x</i> .
x^*	Zero or more occurrences of <i>x</i> .
x^+	One or more occurrences of <i>x</i> .
$\{ \}$	Grouping braces.
$ $	Separate alternatives.

Additionally, Tab. 2 summarizes the key constructs in Planify, thus outlining the building blocks of the language. It delineates core data types used for variable declarations and property values. Structure elements such as "Room", "Window" define physical components, while property identifiers as "id" and "label" specify their attributes. Also, control flow mechanisms, including loops and conditional statements, allow for dynamic and conditional logic within programs. Finally, the global canvas command defines the entire drawing dimensions for design. The table below provides further examples for each construct type, therefore illustrating their practical application within Planify.

Table 2

Key constructs in Planify

Construct Type	Description and Examples
Core Data Types	Used for variable declarations and property values. E.g., “int”, “float”, “string”, “color”, “measure”, “list”.
Structure Elements	Keywords like “Room”, “Window”, “Door”, etc., define physical or functional elements of the floor plan.
Property Identifiers	Keywords such as “id”, “label”, “position”, etc., specify attributes of structure elements.
Control Flow	“For” loops for iteration (e.g., placing multiple items) and “if-else” statements for conditional logic in designs.
Global Canvas Command	A statement like “# width x length ;” (e.g., # 100 x 100 ;) at the beginning of a file defines the general drawing area dimensions.

A few pivotal production rules for Planify are highlighted below in Fig. 1. These rules define how programs are constructed, from overall command lists to specific declarations and structural element definitions with their properties.

```

<Program> ::= <CommandsList>
<CommandsList> ::= <Command> ( ';' <Command> )*
<Command> ::= <Structure> | <Declaration> | <Assignment>
               | <Expression>

<Structure> ::= 'Room' <Block> | 'Window' <Block>
               | 'Door' <Block> | 'Bed' <Block>
               | 'Table' <Block> | (*...other elements*)

<Block> ::= '{' <Property> * '}'
<Property> ::= <PropertyName> ':' <Expression> ',' '?'

<Declaration> ::= <DataType> <Identifier> '=' <Expression> ',' '?'
<DataType> ::= 'int' | 'float' | 'string' | 'color'
               | 'measure' | 'list'

<Expression> ::= <Literal> | <Identifier> | <InfixExpression>
               | (*...other expressions*)

```

Figure 1. Production Rules

A Planify program, as a rule, starts with a global command defining canvas dimensions (e.g., “# size 100 x 100”). Variables are declared with unambiguous types (e.g., “float initialAngle = 90.0”). Furthermore, floor plan elements like “Room”, “Door”, and “Window” are defined using a constructor-like syntax with key-value pairs for properties such as “id”, “size”, “label”, “width”, “height”, and “position”. Additionally, the language facilitates various structures including “Room”, “Window”, “Wall”, “Door”, “Elevator”, “Stairs”, “Bed”, “Table”, and “Chair”. On top of that, loops (for) and conditional statements (if-else) are included for handling dynamic designs.

Visual Representation Architecture

The visual representation system of Planify employs a client-server architecture. To start with, the backend was implemented in Python using FastAPI, and it processes the domain-specific language code, constructs a model layout, and renders it into Scalable Vector Graphics (SVG) format. To continue, the frontend was built using Next.js and React. It provides an interactive and user-friendly interface that contains a code editor, a floor plan viewer with zoom

functionality, and a visual editor for drag-and-drop manipulation. A crucial feature is the bidirectional synchronization, i.e., modifications in the domain-specific language code update the visual, and changes in the visual editor update the DSL code. The workflow involves code input, continuing with parsing and rendering done by the backend, optional visual editing, and exporting the layout model result to SVG or PNG (Portable Network Graphics).

Error Handling

Planify incorporates a robust error handling mechanism to provide clear feedback to the user, thus including several error types handled by specific messages. Syntax errors (e.g., missing semicolons, invalid tokens) are detected during parsing. Semantic errors (e.g., type mismatches, undefined variables, invalid units) are caught during the semantic analysis. As well, runtime errors (e.g., division by zero, canvas overflow) are identified during execution. The error handling system uses a two-phase approach, i.e., a compilation phase for syntax and semantic errors, and a runtime phase for execution errors, with strategies like partial parsing and warnings to improve user experience. For instance, an incorrect label as “Kitchen & Living” (using an unescaped ampersand) can be responsible for causing an XML parsing error during SVG generation, which Planify would report to the user.

Example Programs

The Planify project permits the creation of diverse floor plans. Below is an example that demonstrates its capabilities. The example (Fig. 2) exhibits a basic residential layout on a 100 x 100 m² canvas, featuring a bedroom, living room, bathroom, and kitchen, along with furniture such as a bed and a sofa. Dimensions and positions are specified using the DSL exemplified in Tab. 3. In the end, the rendered output translates these definitions into a scaled visual plan.

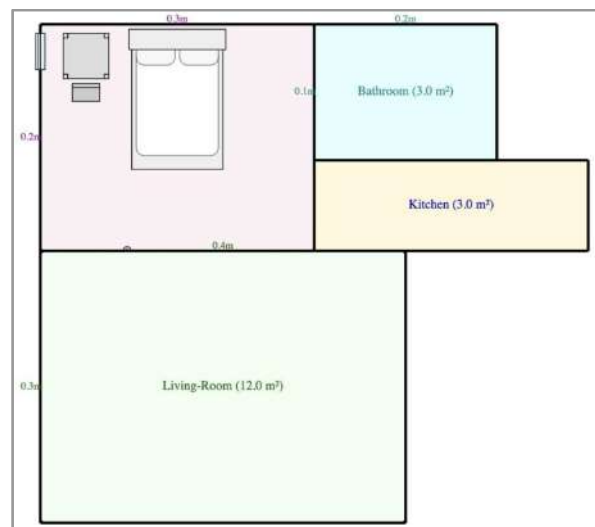


Figure 2. Basic residential layout

Table 3

Planify code snippet example

# 100 x 100 Room { id: "bedroom"; label: "Bedroom"; size: [30, 25]; position: [0, 0]; }	Window { id: "window_east"; position: [0, 10]; width: 1; height: 4; }	Bed { id: "bed"; position: [10, 1]; width: 10; height: 15; }	Door { id: "bedroomDoor"; position: [7, 25]; width: 0.4; height: 0.15; direction: "up"; }

An abstract syntax tree (AST), shown in Fig. 3, visually depicts the hierarchical interpretation of the Planify code snippet provided in Tab. 3. It outlines a “Program” that encapsulates a “Scene” which then contains a “Room”, which in turn extends to include “children” elements, i.e., a “Window”, a “Bed”, and a “Door”. Crucially, each node in the tree is associated with specific attributes and their corresponding values. This structured hierarchy is vital for the parser’s accurate interpretation and subsequent rendering of the floor plan.

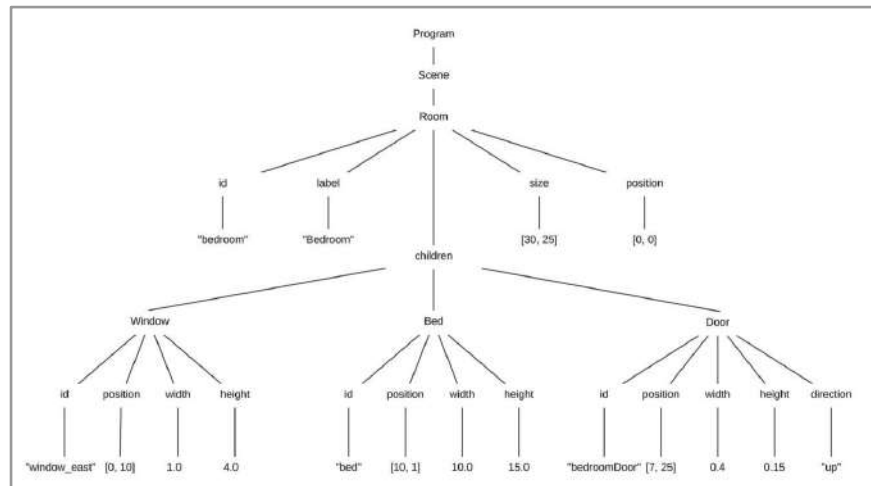


Figure 3. Abstract syntax tree for Planify code snippet

Another example depicts a cottage layout, also on a 100 x 100 m² grid, which includes a main bedroom, living area, kitchen, and a bathroom furnished accordingly. An important aspect of Planify is its error reporting. To exemplify, if a user inadvertently introduces an XML-invalid character in a label, such as “label: Living & Kitchen;” (instead of “label: Living and Kitchen;”), thus the backend SVG rendering process would flag this as an error.

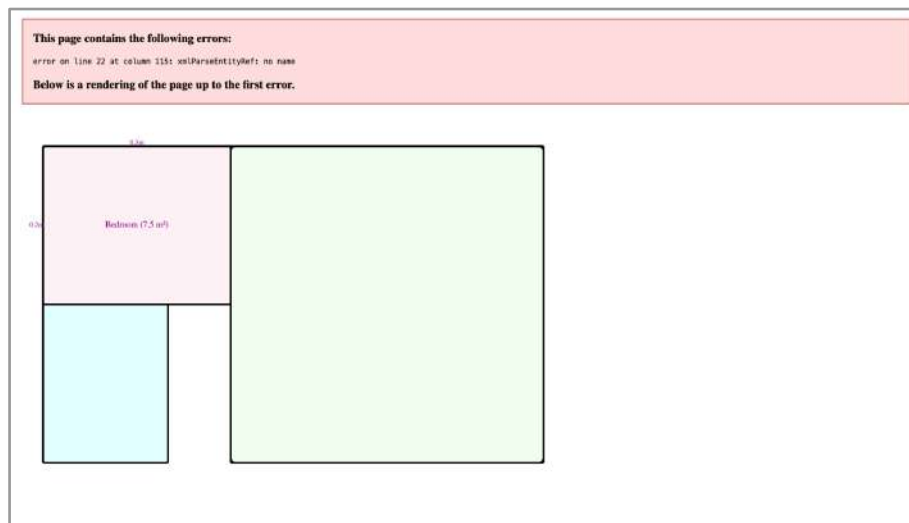


Figure 4. Error handling

Figure 4 demonstrates how such an error might be presented to the user, displaying a partial render up to the point of error, along with a message like “xmlParseEntityRef: no name”. This feedback and error mechanism is pivotal for debugging and improving user experience. Besides, in Tab. 4 can be found the DSL code that generated Fig. 4 and it is notable where the error occurs in defining the last room.

Table 4

Planify code snippet example

# size: 100 x 100 Room { id: "bedroom_area"; label: "Bedroom"; size: [30, 25]; position: [0, 0]; }	Bed { id: "bed"; position: [5, 5]; width: 10; height: 15; }	Table { id: "nightstand"; position: [2, 2]; width: 4; height: 4; }	Room { id: "living_kitchen"; label: "Living & Kitchen"; size: [50, 50]; position: [30, 0]; }

Conclusions

The article depicts the domain analysis, highlighting the design and implementation principles for Planify, a Domain-Specific Language for floor planning. The domain analysis stated and confirmed the need for a more accessible, user-friendly, and less resource-intensive alternative to existing complex planning software that impedes quick modifications. Therefore, Planify aims to bridge this gap by offering an intuitive syntax and a straightforward visual representation. Furthermore, the language implementation details which include its grammar, core syntax for defining structures such as rooms and furniture, and control structures substantiate a solid foundation. The lexer and parser ensure accurate interpretation of the domain-specific language while the error handling mechanisms are designed to enhance usability for both novice and experienced users. Moreover, the visual representation architecture containing the backend rendering pipeline and the interactive frontend, is essential for transforming the script into applicative floor plans and facilitating an accessible design process. The bidirectional synchronization between client and server is a pivotal aspect focused on providing flexibility in the design workflow. Finally, Planify establishes potential as a valuable tool for architects, designers, real estate professionals, and amateurs. Thus, it simplifies the creation of proficient and visually intuitive floor plans.

References

1. Care vor fi mega-orășele lumii în 2050. *Forbes România*, 28 aprilie 2023. Available online: <https://www.forbes.ro/care-vor-fi-mega-orasele-lumii-in-2050-327296> (accessed on 2 May 2025).
2. KANG, H.-K.; LI, K.-J. A Standard Indoor Spatial Data Model—OGC IndoorGML and Implementation Approaches. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 2017, 6, 116.
3. Prospective Buyers: Results from the Zillow Consumer Housing Trends Report 2022. *Zillow Research*, 10 November 2022. Available online: <https://www.zillow.com/research/prospective-buyers-consumer-housing-trends-report-31662/> (accessed on 4 May 2025).
4. COJUHARI, I.; DUCA, L.; FIODOROV, I. Formal Languages and Finite Automata. Guide for practical Lessons. Chișinău: Editura Tehnica-UTM, 2022, 120 p. ISBN 978-9975-45-852-8
5. DUCA, L.; COJUHARI, I.; CIORBĂ, D.; COJOCARU, S. Limbaje formale și automate finite. Ghid pentru lecțiile practice. Chișinău: Editura Tehnica-UTM, 2024, 128 pp. ISBN 978-9975-64-381-8.
6. SEWELL, P. Semantics of Programming Languages. Computer Science Tripos, Part 1B, University of Cambridge, Cambridge, UK, 2009.
7. TURNER, E.; ZAKHOR, A. Floor Plan Generation and Room Labeling of Indoor Environments from Laser Range Data. In 2014 International Conference on Computer Graphics Theory and Applications (GRAPP), Proceedings of the International Conference on Computer Graphics Theory and Applications (GRAPP), Lisbon, Portugal, 5–8 January 2014; pp. 1–12.

DOMAIN-SPECIFIC LANGUAGE FOR STRUCTURED MEAL PLANNING AND FITNESS REGIMEN AUTOMATION

Dmitrii BELÎH*, Alexandra MIHALEVSCHI, Alexandra BUJOR-COBILI,
Denis TATARINȚEV, Ivan RUDENCO

*Department of Software Engineering and Automation, group FAF-232, Faculty of Computers, Informatics, and
Microelectronics, Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova*

*Correspondent author: Dmitrii Belh, dmitrii.belih@isa.utm.md

Tutor/coordinator: Dumitru CRETU, university assistant, Department of Software Engineering and Automation, Faculty of Computers, Informatics, and Microelectronics, Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova

Abstract. *This article describes a computational methodology for integrating meal scheduling and exercise management through a Domain Specific Language (DSL). The proposed DSL attempts to solve the nutrition and fitness imbalance problem by offering a single system that develops unique solutions for each individual based on their purpose, eating habits, and nutrition needs. The use of constraint satisfaction and optimization problem-solving allows the DSL to provide specific meal and exercise plans that comply with the user's requirements. The article presents some parts of formal language theory of the DSL, such as the Backus-Naur Form (BNF) definition of its grammar and the corresponding analyzing technique, while studying its effectiveness in computation and complexity in comparison with other methodologies. Hence, via this study of our DSL strives to foster better health management by providing a relatively simple means to achieve fitness and nutrition objectives through a consolidated comprehensive framework.*

Keywords: *constraint satisfaction, fitness optimization, meal planning, personalized health, software integration.*

Introduction

In our modern society, a lot of people aim to optimize their daily lives as much as possible. They use a lot of tools for health, nutrition, and fitness management that are good on their own. However, here appears quite an annoying problem: there are almost no solutions that might integrate both nutrition and fitness in one swipe on the phone screen.

Fitness and nutrition are strongly connected, and cannot exist and function one without another. A lot of sports enthusiasts and physically active people overall understand this particular phenomena. However, it's hard to use two or more narrow-themed apps that have lots of functionality buried under ads or paid subscriptions, especially when the person goes to work or simply has not so much time. Moreover, a considerable number of professionals in fitness and nutrition state that they might have trouble managing more efficiently big groups of clients. Current apps focus on either fitness tracking or meal planning, which makes users to do a significant amount of the task on their own, leading to inconsistent progress, and as a consequence – waste of time. Busy adults, specifically those aged 25-44, struggle to balance these challenges. Limited customization in existing tools makes it even harder to keep track of user's goals and dietary restrictions. An accessible, simple system is needed to optimize both fitness and nutrition planning efficiently.

Considering these circumstances, it was reasonable to try to find a possible solution – a software developed specifically for these issues. This solution contains a Domain Specific Language, with a grammar created for managing more easily training and meal plans. In the

following paragraphs, a deeper dive into the problem will happen, as well as one short overview on solution design, and, of course, Domain Specific Language development that mitigates the described above problems.

Background Investigation and Domain Analysis

A lot of adult people, engaged in studies or work, have the possibility to try the most basic fitness recommendation. For example, in the USA, almost 46% of adults aged 18 and over do not meet the guidelines for any type of physical activity [1]. The cause for such a high percentage of poorly engaged fitness people might be due to lack of motivation 41%, work schedule 22%, lack of energy 45% and other difficulties [2]. The people who try using fitness apps usually look for diet nutrition planning 50%, training courses and plans 42.17%, or physical assessment 26.96% as stated in the table below (Table 1) [3]. They might be discouraged by the result, since not all apps include meal prepping functions or any meal related functions.

Table 1

Interest of users in the meal prep/fitness apps, based on info from source [1]

Options	Proportion of agreed people
Physical assessment and physical fitness monitoring	26.96%
Health and exercise data recording	42.17%
Exercise guidance and help	43.48%
Training courses and plans	42.17%
Selling sports equipment and other peripherals	27.83%
Diet nutrition planning	50%

Moreover, people tend to spend a lot of time by choosing the meal for the day/part of the day, exactly 48 minutes per day. This leads people to make impulsive food choices, not cooking/eating at all, taking a delivery food or other choices that might harm their health or fitness goal [4]. People who plan their meals can provide themselves a more healthy and balanced nutrition, and worry less about what to eat at the beginning of the meal itself [5].

A significant number of people rely on digital solutions for fitness and meal planning. 24% of adults aged 18–64 regularly use their smartphones as personal trainers. This suggests a growing demand for automated fitness guidance and meal planning tools [6]. Furthermore, using the tools Google Trends provides, searching such words as meal prep or meal plan has been increasing significantly in last years – the interest and number of searches doubled for these specific words from year 2011 [7].

Nutrition and Fitness Management

Among such aspects as timing and training, one of the most important facts is what and how a person eats according to the level of activities in their life and needs. To understand better these metrics, specialist developed different kind of formulas that help to calculate exact amount of calories for any person, since the calories are the starting point in anyone's journey through their nutrition and sport life. One of such formulas is Basal Metabolic Rate (later referenced as BMR). BMR represents the minimum number of calories required to sustain life without any physical activity [8]. This number is then multiplied by an activity factor (ranging from 1.1 to 1.9) based on the individual's exercise level.

Formula for the men:

$$BMR = 13.397W + 4.799H - 5.677A + 88.362$$

Formula for the women:

$$BMR = 9.247W + 3.098H - 4.330A + 447.593$$

where W is weight (kg), H is height (cm), and A is age (years).

Not only food composition is essential for the living, but also the timing when we eat and hydration during workout. A pre-workout meal should be high in complex carbohydrates and low in proteins and sugars to sustain energy levels. Hydration is also essential, as the body loses fluids through sweat every minute. Suitable options for hydration include: water – best option, sports drinks with no caffeine, juices for additional carbohydrate intake. If there is for endurance training or event, people should make sure to intake 30-90 g of carbohydrates via sports gels or high-carb drinks [9]. A post-workout meal should replenish energy and support muscle recovery. The ideal consumption period is 1-2 hours. Caloric intake, macronutrient distribution, and meal timing should be adjusted based on individual goals, preferences, and training plans. Experimentation with drastic dietary changes is not encouraged if current habits are already yielding positive results.

In order to have a good fitness result, the person should understand its final goal. It must be realistic and follow the structure of a SMART technique for better effects. Some realistic goals and rates for intake eight loss or muscle gain are the following: for weight loss – 0.5-1% of body weight per week (calorie-per day deficit); for muscle gain – 0.25-0.5% of body weight per weight (calorie-per-day surplus for muscle growth) [10]. Moreover, basic fitness rules state that for a healthy life, an adult should get at least 150 minutes of moderate aerobic activity per week or 75 minutes of more energetic aerobic activity per week. Aerobic activity are considered such exercises that help improve heart rate and the blood circulation in general. If there is a specific need for an increase, the aim is in general 10% for each week for safe progress. Strength training, and more specifically, major muscle groups, require 2 times a week of trainings. As a good standard is considered from 12 to 15 repetitions [11].

Solution Concept

For the identified problems to be solved, a unique solution must be developed, that manages to leverage software integration of a DSL as a tool for automatization and optimization of meal and fitness plans. This DSL tool would let users generate simple or complex workout routines, that contain details such as exercise type, intensity, and duration. It could also generate custom meal plans based on their workout plan, diet preferences, and nutritional needs. The tool would adjust plans over time based on progress and offered feedback by use of DSL rules, thus offering automatic guidelines while still allowing manual adaptations for those who want more control.

The benefits of this solution can be measured by introducing user loyalty, improvements in health, and time saved. Feedback from experts in fitness and nutritionists might help refine the tool. Thus, the users will have on their hand a free tool with endless possibilities to generate fitness and meal plans, a personalized health with just some simple commands. The existence of DSL in this solution was crucial, since it plays a big role in offering the desired flexibility and automatization. Thus, taking into the consideration the needs and expected results, the next step was to develop the language of the DSL itself.

Token Scanner and Parser

The grammar represents the fundament of the developed solution. The language contains a full set of tokens formulated primarily for fitness optimization and nutrition planning. This set is necessary to formulate a language controlled by a system of syntax and grammar rules. In order to recognize this set of tokens, it was needed to have a scanner that will recognize them, which will represent the first step of the compilation. The Tokenizer, later referred as Lexer or Lexical Scanner, sorts the plain source code into an organized group of tokens that is handled later by the Parser [12].

Before analyzing in more depth the implementation of the language, it was decided to use the Backus-Naur Form (BNF) to define the syntax of the developed language. This form demonstrates how tokens and syntactic blocks can be used together to generate valid expressions. Later, this structure will be essential for the Parser to validate code structure and build an abstract syntax tree. The grammar defines a hierarchical structure starting from the *Program* level, which consists of multiple *Statements*. Each *Statement* can be one of several types (*CreateStmt*, *GenerateStmt*, etc.), each with its own specific grammar rules. The grammar supports nested structures through *Block* definitions and allows for complex expressions and conditions [13].

From the Backus-Naur Form (Figure 2) it can be observed the following: *createPerson* block initializes user profiles with various attributes like weight, height, dietary preferences, and allergies. The system validates numerical attributes to ensure they fall within reasonable ranges. Blocks *generateTraining* creates personalized workout plans by analyzing user data against the exercise database. It considers factors like available equipment, fitness goals, and physical limitations. Selection blocks like *select...where*: filters database records based on specific conditions, enabling targeted data retrieval for meal and exercise planning. Loops such as *while* check training time limits, for iterates ingredients. The final output supports various presentation formats, including tabular displays for workout schedules and meal plans.

```

1 Program      = { Statement } ;
2 Statement    = CreateStmt | GenerateStmt | SelectStmt |
3 UsingStmt | OutputStmt | LoopStmt ;
4 CreateStmt   = "create" Identifier "{" { Attribute } "}" ;
5 Attribute    = Identifier ":" ( Literal | Array | Object ) ;
6 GenerateStmt = "generate" Identifier "{" { Param } "}" ;
7 Param        = Identifier ":" ( Literal | Reference ) ;
8 SelectStmt   = "select" Identifier "where" Condition ;
9 Condition    = Identifier Operator Literal ;
10 Operator    = "=" | ">" | "<" ;
11 LoopStmt    = WhileStmt | ForStmt ;
12 WhileStmt   = "while" "(" Condition ")" Block ;
13 ForStmt     = "for" Identifier "in" Iterable Block ;
14 Iterable    = Identifier | Array ;
15 OutputStmt  = "output" Expression [ "in" "table(" Identifier ")" ]
16 ;
17 UsingStmt   = "using" Identifier ;
18 Block       = "{" { Statement } "}" ;
19 Expression  = MathExpr | Reference | Literal ;
20 MathExpr    = Number Operator Number ;
21 Reference   = Identifier { "." Identifier } ;

```

Figure 2. BNF for defining the language tokens

Besides the tokens, the language should be written based on some rules. For this, there were defined some execution standards, such as the data is loaded using statements, user profiles and plans are created based on provided attributes in the statements, improvements can be made using loops and conditional statements. In total, the language is of medium depth, having 25 rules, with high lexical and syntactic complexity (44 token types), and quite unambiguous. The language implementation also handles various error (such as lexical, semantic, type mismatches, constraint violation) to ensure robust operation and avoid any imperfections in plan drafting.

The Lexical Scanner, *FitnessNutritionLexer*, was generated using ANOther Tool for Language Recognition utility, shortly called ANTLR. The Lexer transforms the raw source code from the text file into a sequence of tokens. Each token is assigned a unique integer value, that help in type identification. Also, during the lexical analysis, other statements and identifiers are

found, as well as patterns or other important details that will be useful in meal and workout plan generation.

The implementation of the Parser, FitnessNutritionParser, was closely linked with the grammar rules stated above. ANTLR uses a grammar specification file – in this case called FitnessNutrition.g4 – to define the language rules. Using this lexical and syntactic rules, the Parser continuously processes the statements and checks next tokens that belong to the valid set. If it discovered such tokens, it hands them to the statement handler. By using LA(1) forecasting, the parser inspects the following tokens and calls the appropriate method, such as createStmt or generateStmt. Next, the Parser finds logical blocks followed by create keyword, and closed within curly braces according to the grammar rules. Function attributeList() processes attributes within braces, looping through keywords and searching for key values, nested blocks, dynamic expressions. Another important thing in the parser logic is the expression treatment. Expressions and values, according to the established rules, can be direct literals, references, or identifiers. Parser handles such keywords in the previously announced sequence. This multipurpose approach offers flexibility in value definition, since the same rule can be applied to different value types. Finally, the parser also analyses the code for loop structures, such as while, for, or for each, in order to find and integrate the iterative logic for much easier coding process for the end user.

Conclusions

Overall, this article presented a domain-specific language designed to optimize and automatize meal and fitness planning by using personalized management practices and developing a set of rules that fit the needs of the identified target groups. The formal grammar, defined using Backus-Naur Form, ensures unambiguous syntax and structured logic. Based on these particular constraints, created Token Scanner and Parser process successfully user input into dynamic recommendations.

The proposed solution address might solve the existing gaps in fitness and nutrition apps, since it is offering a rigid and user-friendly system. Future work may involve expanding the rule set of the following DSL with broader patterns of dietary restrictions, health data, as well as other special needs of the end users. Ultimately, this DSL represents a step towards a more efficient and automated health management, which has the potential to motivate individuals to achieve consistently and easier their goals.

Looking forward into the future, similar solutions with integrated DSL's have quite a big potential to develop. They offer a simple solution for a bigger range of user personalization. Paired with Artificial Intelligence, such tools can be integrated more seamlessly into everyday life. Instead of writing lines of code, the user just discusses with a chatbot, which transforms the human speech into blocks of information for the language interpreter. The future could also bring different software and hardware integration, that might improve the quality of the system. By integrating already existing applications, it is possible to make the interaction between people and software products more efficient and natural, enhancing not only the results, but also the associated feelings to the system.

Resources

1. National Center for Health Statistics. "Products - Data Briefs - Number 443 - August 2022." <https://www.cdc.gov/nchs/products/databriefs/db443.htm> August 2022.
2. Statista. "Most common barriers to fitness 2023." <https://www.statista.com/statistics/1445847/common-fitness-barriers/> 2023.
3. ResearchGate. "(PDF) Research and practice of personalized fitness plans based on Hmove platform."

-
- https://www.researchgate.net/publication/380283902_Research_and_practice_of_personalized_fitness_plans_based_on_Hmove_platform 2025.
4. WIDENER, M.J.; REN, L.; ASTBURY, C.C.; SMITH, L.G.; PENNEY, T.L. "An exploration of how meal preparation activities relate to self-rated time pressure, stress, and health in Canada: A time use approach." *SSM - Population Health* 15 (2021). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8170144/>
 5. ResearchGate. "(PDF) Meal planning is associated with food variety, diet quality and body weight status in a large sample of French adults." https://www.researchgate.net/publication/313265513_Meal_planning_is_associated_with_food_variety_diet_quality_and_body_weight_status_in_a_large_sample_of_French_adults. February 2025.
 6. Statista Daily Data. "Infographic: Smartphone as Personal Trainer." <https://www.statista.com/chart/24702/gcs-share-smartphone-users-regularly-use-fitness-apps> April 2021.
 7. Google Trends. Available at: <https://trends.google.com/trends/explore?date=now%201-d&gprop=youtube&q=meal%20plan,meal%20prep&hl=ro> (Accessed: Feb. 19, 2025).
 8. 'Basal Metabolic Rate Calculator | Garnet Health | Mid-Hudson Healthcare System | Hospitals in Middletown, Harris and Callicoon, NY'. Accessed: April 13, 2025. [Online]. Available: <https://www.garnethealth.org/news/basal-metabolic-rate-calculator>
 9. '5 nutrition tips to maximize workouts', Mayo Clinic Health System. Accessed: May 28, 2025. [Online]. Available: <https://www.mayoclinichealthsystem.org/hometown-health/speaking-of-health/5-nutrition-tips-to-maximize-your-workouts>
 10. KAMB, S., How To Build Your Own Workout Routine (Plans & Exercises). Available at: <https://www.nerdfitness.com/blog/how-to-build-your-own-workout-routine/> (Accessed: 17 March 2025)
 11. Mayo Clinic, Can you sing while you work out?. Available at: <https://www.mayoclinic.org/healthy-lifestyle/fitness/in-depth/exercise-intensity/art-20046887> (Accessed: 13 March 2025).
 12. COJUHARI, I.; DUCA, L.; FIODOROV, I. Formal Languages and Finite Automata. Guide for practical Lessons. Chișinău: Editura Tehnica-UTM, 2022, 120 p. ISBN 978-9975-45-852-8
 13. DUCA, L.; COJUHARI, I.; CIORBĂ, D.; COJOCARU, S. Limbaje formale și automate finite. Ghid pentru lecțiile practice. Chișinău: Editura Tehnica-UTM, 2024, 128 pp. ISBN 978-9975-64-381-8
-

CHARTLAB: REDEFINING DATA VISUALIZATION THROUGH A DECLARATIVE LANGUAGE DESIGN

**Anastasia TIGANESCU, Daniela COJOCARI, Janeta GRIGORAS*,
Maxim ISACESCU, Vladimir VITCOVSCHII**

*Department of Software Engineering and Automation, group FAF-231, Faculty of Computers, Informatics, and
Microelectronics, Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova*

*Corresponding author: Janeta Grigoras, janeta.grigoras@isa.utm.md

Tutor/coordinator: Dumitru CIORBA, associate professor, doctor in technical sciences,
Technical University of Moldova

Abstract. *There is a growing need for reliable data visualization in a world driven by data. However, inaccessible and ineffective tools for designing charts prevail. These existent tools are either low-quality or they are overly complex, requiring advanced technical expertise from the user. This leaves the user unable to extract useful insights from the data. ChartLab, a unique domain-specific language (DSL), has the purpose to ease the process of data visualisation and analysis. ChartLab introduces a syntax that allows users to easily generate data visualizations using accessible natural language commands, without needing any programming knowledge. The core innovation stands in the developed grammar, which supports commands for 9 types of visualizations: bar chart, grouped bar chart, stacked bar chart, line graph, histogram, area chart, scatter plot, bubble chart, and pie chart. This provides customizable graph representation, and dynamic data processing to enhance the usability and accessibility of data visualization. As tools and methodologies, ANTLR was used to build the parser and lexer efficiently and Python libraries for visualisation of the charts. The implementation also uses tools like Flask and Next.js, but the focus of this article is on the linguistic structure of ChartLab. ChartLab is a tool for graph creation, that allows the user to have a unique and correct representation of their data, an accessible chart history and dynamic data processing, regardless of their technical background. Together, all these features enhance the creation of a technically accurate chart.*

Keywords: *chart, graph, automatization, visualisation, analysis*

Introduction

Data visualization is rapidly becoming a shared language between people, businesses, organizations, and nations. Nowadays, we rely more than ever on the insights data can provide. The world is shaped by decisions taken as a result of collecting, interpreting, and analyzing data. As Scott Berinato observes in his book “Good Charts”, information can be called, nowadays, a “megacosm” - an entire universe of data we have to handle. However, the observations gathered as data, are equal to nothing if there is a lack of proper tools to convert those raw numbers into useful insights [1].

Stephen Few adds in his article “Data Visualization Past, Present and Future” that data visualization is still largely misunderstood, and apparently, “too often undermined by the very vendors that produce and sell visualization software” [2]. Moreover, the book “Graphing Statistics and Data”, says that the process of creating charts or graphs is an art in itself, having really specific rules on the basic principles of visual perception and cognition [3]. Unfortunately, many of the current trends in data visualization do not respect these rules.

The right visualization tools are needed for translating data as easily and efficiently as possible. Nevertheless, the data visualization software existent in the market today is either too technically advanced, or too mediocre to be truly useful. The article focuses on how this

motivated the development of ChartLab, a Domain-Specific Language, for designing theoretically-correct and visually-pleasing charts, easy to use for every individual.

Data Visualization in Modern Communication

Data visualization plays a pivotal role nowadays. As the amount of data generated and consumed grows, so does the need for effective tools to present this information in a way that's accessible for each individual. The most common tools for data visualization are bar graphs, line graphs, pie charts and network graphs. But there are many lesser-known ways in which you can represent the data more interactively and unusually, like: area graphs, waterfall charts, gauge charts and funnel charts. The existence of so many varied ways to represent data emphasizes once again how important data visualization is.

A study by Kennedy and Hill (2018) revealed that data visualizations awaken a wide range of feelings in people who engage with them [4], therefore it is essential to have a tool for constructing data efficiently. While there is no specific data about how many people have created a graph or chart at least once, it is undeniable that they are widely used in schools by both teachers and students, in economics, in mathematics and in science.

Another point worth mentioning is that data stored in charts is easier to understand and is more visually appealing to the human eye. A study entitled "A Mind's Eye" done by researchers at the University of Rochester reveals that more than 50% of the human brain is devoted to processing visual information [5]. This, once again, highlights that information presented visually is more likely to be comprehended and retained. Furthermore, in an analysis titled "Blinded with science: Trivial graphs and formulas increase ad persuasiveness and belief in product efficacy", authored by Aner Tal and Brian Wansink, it is mentioned that when a scientific claim is presented in words 68% of those reading it will consider the information to be truthful. However, when the same claim is presented in a simple graph, the percentage raises to 97% [6]. So, having information presented visually not only makes the understanding of the facts easier, but also increases its credibility.

As mentioned previously, there is a lack of software for designing theoretically-correct and visually-pleasing charts, easy for each and every individual. Some existent tools, for example Python with its libraries, such as Matplotlib, Seaborn, Bokeh, Altair, etc., are very handy in the data analysis and visualization domain. However, the offered libraries require explicit code writing to visualize even basic correlations, which makes it useful only for specialized people, such as software engineers, who also handle how data is fed to the tools manually.

Other tools recognized by people who intend to spend less time possible and obtain impactful results are Tableau, Redash, Apache Superset, and especially Microsoft Excel. Yet, they offer an overwhelming GUI and suffer from a lack of community.

ChartLab takes the best features from both "worlds". It is open-source and free to use, so anyone can use it for any use, and the GUI itself is cut completely.

Declarative Grammar for Visualization

In response to the enlisted challenges of creating a technically accurate and readable graph, ChartLab was created - a domain specific language aimed for real-time chart construction.

One might argue that there is no need to introduce an entire new DSL for solving a problem, when there are alternatives such as XML - which translates data in a machine to a form more human-readable or JSON - which is less verbose than XML, since XML is considered to be more machine-readable than human-readable - according to the book "Implementing Domain-Specific Languages with Xtext and Xtend" [7]. However, DSLs provide optimizations that general-purpose languages lack. DSLs are prone to less errors, lead to increased productivity, and can help in writing code faster. Moreover, according to Leandro Nascimento and Daniel

Viana, DSLs are "small, more declarative than imperative, and more attractive than General-Purpose Languages (GPL)" [8].

ChartLab is a domain specific language aimed at real-time chart construction. The grammar for the Domain-Specific Language (DSL) is the core of the tool and defines a syntax that allows users to easily generate data visualizations using accessible natural language commands.

The chart function rule defines 9 visualization options, depending on the visualization the user wants to access. The supported visualizations are:

- Bar Chart: Compares a single variable across multiple cases.
- Grouped Bar Chart: Compares a variable split into subsets across various cases. It contrasts subsets within and across individual cases, not useful for comparing total values for cases.
- Stacked Bar Chart: Compares the value of one variable split into 2 or more subsets, across various cases. Best for comparing totals across cases and subsets within cases.
- Line Graph: Compares continuous variables for one or more cases.
- Histogram: Compares two variables, with one segmented into ranges that function like the cases in a bar graph. Best for comparing segments within continuous data sets.
- Area Chart: Compares two continuous variables for one or more cases.
- Scatter Plot: Compares two variables at multiple data points for a single case. Best for showing distribution of data, when there is no clear trends, or when focus is on outlying data points.
- Bubble chart: Compares three variables at multiple data points for a single case. It emphasizes the relationship between the third variable(the bubbles) and the first two.
- Pie Chart: Shows the proportion of a single variable for multiple cases (when you compare one segment to a whole).

Each type of visualization follows a predefined syntax rule. For example, in the case of the Grouped Bar Chart, the syntax is represented in Fig. 1 below.

```
<chartFunction> ::=
| "compare" <var> "split by" <subgroup> "for" <
cases>
| "compare" <var> "grouped by" <subgroup> "for" <
cases>
| "differences within" <subgroup> "for" <cases>
```

Figure 1. Grouped bar chart grammar example

The example code using the syntax described earlier is represented in Fig. 2. From the example, it is clear that when presented with the appropriate keywords such as "compare" together with "split by" in this case, the user will get the input data in the form of a grouped bar chart.

```
with data from industry chart:
compare salary split by gender for company
```

Figure 2. Bar chart grouped input example

The syntax above can be visualized in the derivation tree from Fig. 3, which shows how each token is parsed according to the grammar rules.

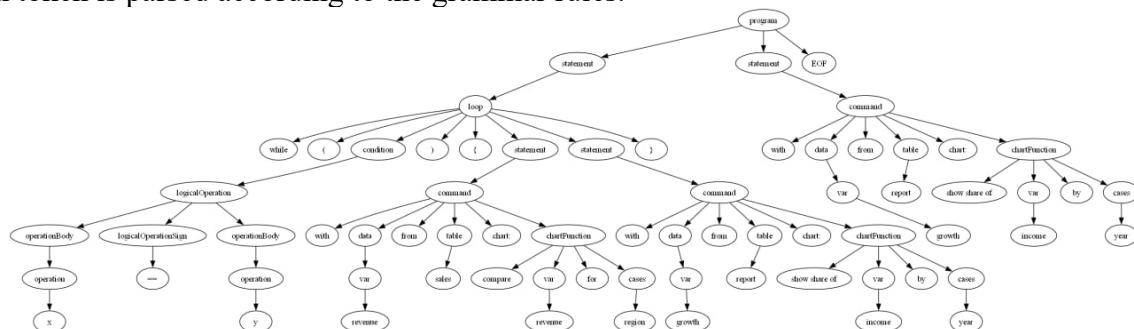


Figure 3. Derivation tree example

The grammar is constructed around several key identifiers:

- var: represents actual columns from the dataset (the tables) given as input by the user;
- continuousIdentifier: represents a collection of columns the user wants to represent. This is a typical use case for trends, line graphs or accumulative data
- cases: also represents a columns from the dataset, however it usually represents categories on the y-axis in visualizations
- subgroups: also a column from a table, but used in the context of specific charts/graphs, it enables stacked or group visualizations.
- step: represents the bins width in a histogram, that is the difference between the lower bounds of two consecutive bins.

Control structures such as conditional statements and loops enhance the DSL's flexibility.

Conclusions

In conclusion, the presented Domain Specific Language (DSL), was created in a structured and user-friendly way, and paired with a visually appealing and straightforward UI. It represents a powerful tool for anyone looking to create graphs or charts. ChartLab is a data analysis and visualization tool which manages to simplify the complex world of data visualization. In this way, it makes the process of creating charts or graphs accessible to anyone, regardless of their technical background. Moreover, it simplifies without compromising correctness. Thus, it is also a tool which preserves theoretical accuracy, helping users choose the appropriate visualization type for their data.

A key strength of ChartLab lies in its simplicity of use - users can easily upload their files and rely on natural-language commands to generate the chart that fits best. Unlike traditional tools, it isn't mandatory to know which type of chart you want, that's the beauty of ChartLab. Instead, through a keyword-based approach, it ensures the best visualization is chosen for the user's data.

Bibliography

1. BERINATO, S. Good Charts, Updated and Expanded: The HBR Guide to Making Smarter, More Persuasive Data Visualizations; Harvard Business Press, 2023.
2. FEW, S. Data Visualization - Past, Present, and Future.
3. WALLGREN, A. Graphing Statistics & Data: Creating Better Charts; SAGE, 1996.
4. The Feeling of Numbers: Emotions in Everyday Engagements with Data and Their Visualisation - Helen Kennedy, Rosemary Lucy Hill, 2018. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0038038516674675> (accessed 2025-02-22).
5. Rochester Review :: University of Rochester. https://www.rochester.edu/pr/Review/V74N4/0402_brainscience.html (accessed 2025-02-22).
6. Blinded with science: Trivial graphs and formulas increase ad persuasiveness and belief in product efficacy - Aner Tal, Brian Wansink, 2016. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0963662514549688> (accessed 2025-02-22).
7. BETTINI, L. Implementing Domain-Specific Languages with Xtext and Xtend; Packt Publishing Ltd, 2016.
8. NASCIMENTO, L.; VIANA, D. A Systematic Mapping Study on Domain-Specific Languages. 2012.

IMPACTUL UTILIZĂRII INTELIGENȚEI ARTIFICIALE ÎN CREAREA PREZENTĂRILOR

Cristian LAPTEACRU*, Dan GUZOVATÎI

Departamentul Informatică și Ingineria Sistemelor, Facultatea Calculatoare, Informatică și Microelectronică,
Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

*Autorul corespondent: Cristian LAPTEACRU, cristian.lapteacru@iis.utm.md

Îndrumătorul/coordonatorul științific Daniela ISTRATI, lect. univ. dr., UTM

Rezumat. Crearea prezentărilor reprezintă un proces ce necesită timp și cunoștințe tehnice și de design. Inteligența artificială (IA) oferă un suport acestui proces prin automatizarea și optimizarea lui. Din acest considerent, se dorește determinarea impactului inteligenței artificiale în crearea prezentărilor. Pentru aceasta, au fost identificate tehnologiile IA ce sunt utilizate sau pot fi implementate în acest proces, cum ar fi: utilizarea procesării limbajului natural (NLP) pentru generarea automată a textului, generarea imaginilor, sinteza vocală și asistența prin intermediul chatbot-urilor. Sunt reprezentate etapele generării automate de conținut, de la introducerea cerinței de către utilizator, generarea structurii prezentării, crearea textului pentru fiecare diapozitiv, crearea imaginilor pentru completarea informație, până la oferirea sugestiilor de design al diapozitivelor. Studiul subliniază o serie de avantaje a integrării acestor tehnologii, inclusiv sporirea eficienței, economia de timp și o calitate vizuală mai bună. Totodată, se acordă atenție și asupra efectelor negative, cum ar fi lipsa originalității și riscul de a fi acaparați în totalitate de tehnologie. Prin urmare, inteligența artificială ar trebui folosită ca asistent în acest proces. Ea nu ar trebui să înlocuiască cu totul efortul uman. De aceea, se propune utilizarea echilibrată a ei.

Cuvinte cheie: inteligență artificială, prezentări digitale, procesarea limbajului natural, generare de conținut, sinteză vocală, eficiență digitală.

Introducere

Prezentările sunt o modalitate importantă de transmitere a informației în diferite domenii: educație, afaceri, cultura și comunicare. Odată cu evoluția tehnologică, au evoluat și ele, de la postere și simple schițe pe tablă la prezentări digitale complexe.[1] În prezent, inteligența artificială oferă unelte, precum generarea de conținut și sugestii de design care pot optimiza modul în care aceste materiale sunt create.

Scopul acestei cercetări este de a determina impactul inteligenței artificiale asupra procesului de creare a prezentărilor. Pentru a atinge acest scop sunt stabilite mai multe obiective. Acestea includ cercetarea și analiza literaturii de specialitate și a soluțiilor existente pentru a găsi tehnologiile IA care sunt folosite sau care pot fi integrate în procesul de creare a prezentărilor. În plus, ar trebui examinate avantajele și dezavantajele aplicării acestor tehnologii în domeniul dat, punând accent pe modul în care acestea afectează competențele umane, creativitatea și accesibilitatea.

Aplicații ale inteligenței artificiale utilizate în crearea prezentărilor

Un instrument util pentru automatizarea proceselor repetitive, inclusiv a prezentărilor, este inteligența artificială (IA). Momentan, aplicațiile oferă o gama largă de instrumente IA menite să ușureze procesul de creare a prezentărilor.

Prelucrarea limbajului natural (NLP) este un exemplu al aplicării IA în acest context pentru generarea automată de text. Pornind de la o idee, schiță sau un rezumat, modelele

avansate, precum GPT-4o, pot crea un set coerent de diapozitive. [2] Generare a unei prezentări are loc în mai multe etape:

- *Introducerea cerințelor*: Utilizatorul oferă tema prezentării sau un scurt rezumat al subiectului, în care poate specifica structura prezentării sau eventuale cuvinte-cheie. Ulterior, cerința este transmisă unui model IA pentru a fi analizat semantic.
- *Generarea automată a structurii prezentării*: IA analizează tema oferită de utilizator și creează o structură logică a prezentării, unde pentru fiecare diapozitiv se generează un titlu, de exemplu: introducere, conținut și concluzii. [3] La final, se obține cuprinsul prezentării, care urmează a fi populat cu informație.
- *Crearea conținutului textual*: Pentru fiecare diapozitiv, se generează textul corespunzător temei și titlului diapozitivului. Algoritmul distinge între propozițiile relevante și cele mai puțin importante, astfel încât conținutul generat să fie coerent și succint. [3]
- *Generarea și inserarea elementelor vizuale*: Pe baza analizei semantice a conținutului, inteligența artificială utilizează modele de învățare profundă, precum rețelele neuronale și tehnici de text-to-image matching, pentru a selecta sau genera automat imagini, grafice și pictograme relevante conținutului textual de pe fiecare diapozitiv. Acestea sunt fie extrase din baze de date vizuale pre-antrenate, fie create prin intermediul modelelor generative, cum ar fi Stable Diffusion sau DALL·E.
- *Sugestii de design*: În ceea ce privește partea vizuală, IA contribuie semnificativ prin sugerarea automată a paletelor de culori, fonturilor, temelor și layout-urilor. Astfel, chiar și utilizatorii fără cunoștințe de design beneficiază de o estetică profesională. Exemple de platforme, precum Beautiful.ai sau Canva AI utilizează baze de date vizuale extinse și reguli validate de design pentru a propune cele mai potrivite elemente în timp real.

Acest proces este implementat în platforme precum SlidesAI și Google Slides, care permit introducerea unui text simplu, pe baza căruia algoritmul IA identifică structura optimă a prezentării, alege titluri, împart informațiile în secțiuni și propun imagini și grafice relevante. Un alt exemplu, sistemul Presentify, utilizează modele de NLP și învățare profundă pentru a extrage conceptele-cheie din lucrări științifice și a le transforma automat într-o structură de prezentare logică, cu titluri și puncte esențiale [4].

O alternativă sunt chatbot-urile bazate pe IA, care asistă în timp real întreg procesul de dezvoltare a prezentărilor. La cerințele utilizatorilor, acestea, precum ChatGPT pot redacta sau reformula textul, crea rezumate sau oferi exemple relevante pentru subiectele abordate și sugera idei de structură și design. În așa mod, chatbot-urile fac mai accesibil și mai eficient procesul de creare a prezentărilor.

O altă tehnologie IA, frecvent utilizată în realizarea prezentărilor multimedia, este sinteza vocală (Text-to-Speech). Aceasta este un sistem care transformă textul scris în sunet și reprezintă o componentă esențială în domeniul interacțiunii om-mașină [5]. Ea permite generarea de voci umane, care pot fi integrate în prezentări video sau cursuri online. Ea elimină necesitatea înregistrării audio manuale și face conținutul mai accesibil, în special pentru publicul larg sau pentru persoane cu deficiențe de vedere.

Integrarea inteligenței artificiale în procesul de creare a prezentărilor a făcut posibilă tranziția de la munca manuală la o abordare asistată. Aceste tehnologii nu doar optimizează timpul de lucru, ci contribuie și la calitatea, claritatea și impactul final al prezentărilor.

Avantajele și dezavantajele utilizării inteligenței artificiale în crearea prezentărilor

Inteligența artificială aduce o mulțime de beneficii importante în procesul de creare a prezentărilor. Tehnologiile de IA influențează fundamental modul în care utilizatorii dezvoltă și livrează prezentări, prin mulțimea de instrumente care automatizează sarcinile repetitive, ridică

la alt nivel calitatea vizuală și oferă o personalizare conținutului. În continuare sunt descrise următoarele avantaje identificate:

- *Eficiență și economie de timp* - Un lucru pe care îl cunoaștem sigur, este că crearea unei prezentări calitative duce la o mare investiție de timp. Prin intermediul inteligenței artificiale eficiența crește și timpul de producție scade. Lin și Hovy [6] au dezvoltat metode statistice pentru a rezuma automat textele, care pot fi utilizate în contextul extragerii informațiilor cheie din documente de dimensiuni mari, astfel oferind posibilitatea includerea acestora în slide-uri de prezentare. Pentru a economisi timpul dedicat organizării de conținut, este posibilă utilizarea acestor sisteme bazate pe aceste tehnici pentru a genera structuri de prezentare într-un mod coerent, pe baza obiectivelor specificate de către utilizator.
- *Personalizare îmbunătățită și adaptabilitate* - Prin intermediul sistemelor moderne de inteligență artificială se pot analiza preferințele publicului țintă, astfel facilitând adaptarea prezentărilor conform acestora. Cu ajutorul algoritmilor de inteligență artificială este asigurată personalizarea prezentărilor, care înregistrează rate de retenție a informației mai mare comparativ cu prezentările create manual. Un nivel înalt de personalizare ar necesita extrem mult timp dacă ar fi realizat manual.
- *Îmbunătățirea calității vizuale și a consistenței* - Menținerea unei consistențe stilistice pe tot parcursul prezentării poate fi facilitat de către sistemele de inteligență artificială moderne, prin generarea și îmbunătățirea elementelor vizuale. În competența algoritmilor de inteligență artificială intră analiza și optimizarea elementelor de design vizual. Acest lucru poate fi folosit pentru a maximiza impactul și claritatea comunicării în prezentări. Chiar și în cazul în care utilizatorul nu are experiență în design grafic, aceste instrumente pot aplica principii estetice și de design universal pentru a crea prezentări cu un aspect cât mai profesional, asigurând un aspect vizual de o calitate înaltă pentru toate slide-urile [7].

Chiar dacă utilizarea inteligenței artificiale în crearea prezentărilor aduce beneficii substanțiale, se pot scoate la iveală și o serie de dezavantaje care merită menționate. Identificarea și înțelegerea acestor limitări este crucială pentru a implementa, în echilibru, aceste tehnologii în procesele de creare a prezentărilor. Au fost identificate următoarele dezavantaje:

- *Pierderea potențială a autenticității și creativității umane* - Primul dezavantaj, care ridică un număr mare de discuții, este o potențială dispariție a amprentei personale și a creativității de natură umană, când vine vorba de utilizarea excesivă a inteligenței artificiale în crearea de prezentări. Din cauza că prezentările generate exclusiv prin intermediul IA pot părea prea standardizate, că ar urma un model predefinit, ar duce la reducerea unicității prezentărilor și mai mult, poate afecta conexiunea emoțională cu audiența [8]. Deși inteligența artificială devine din ce în ce mai bună la simularea creativității, la momentul dat aceasta nu poate înlocui complet abilitățile narrative autentice umane, acestea la rândul lor captează atenția și rezonază emoțional cu publicul. În acest mod autorul prezentării creează conexiunea cu audiența. Chiar și personalizarea excesivă se poate transforma paradoxal într-un model standardizat.
- *Probleme de confidențialitate și securitate a datelor* - Majoritatea sistemelor de inteligență artificială stochează datele pe servere externe. Acest lucru poate reprezenta un mare dezavantaj în cazul în care aceste date, care pot fi confidențiale sau cu caracter personal, vor fi supuse unor scurgeri de informații. Este necesar să se aleagă un compromis între beneficiile oferite și riscurile la care IA supune informația furnizată, în special în industriile unde există reglementări stricte ce țin de confidențialitatea datelor [9], cum ar fi industria bancară.
- *Dependența tehnologică și degradarea abilităților* - Fără să ne dăm seama utilizarea inteligenței artificiale poate duce la atrofierea abilităților de analiză și prezentarea

informațiilor, ambele la fel de importante pentru o comunicare eficientă cu audiența. La fel crește incompetența utilizatorilor de a crea sau adapta prezentări fără ajutorul instrumentelor automate.

Cercetătorii recomandă utilizarea echilibrată a inteligenței artificiale în crearea prezentărilor pentru a maximiza avantajele și a minimiza dezavantajele.

Concluzii

Modul în care informația este structurată, personalizată și transmisă este transformat radical de către utilizarea IA. Sarcinile repetitive la care sunt supuși autorii sunt în acest mod automatizate de către tehnologii precum procesarea limbajului natural, generarea de conținut vizual și sinteza vocală. Aceste tehnologii oferă un suport creativ, îmbunătățesc accesibilitatea și eficiența în crearea de prezentări. Însă utilizarea de IA aduce totodată și provocări legate de confidențialitate, autenticitate și dependență tehnologică. Astfel, o utilizare echilibrată a inteligenței artificiale ar constitui o soluție la problema identificată. Acest lucru permite folosirea potențialului oferit de către aceste tehnologii în crearea prezentărilor conform necesităților utilizatorilor.

Referințe

1. GOGOI, E.; ISTRATI, D.; COJUHARI, I. Educația 4.0: evoluție, provocări și perspective. În: *Materialele Conferinței Republicane a Cadrelor Didactice Psihopedagogie și management educațional*. vol. 5 [online]. 27 februarie 2021, pp. 241–245. [citată 11.02.2025]. Disponibil la: https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/124711.
2. ISTRATI, D. A Brief Overview of Intelligent Interfaces in Production Systems. In: *Conference on Electronics, Communications and Computing 20-21 october 2022* [online]. Technical University of Moldova, 21 octombrie 2022, pp. 158–161. [citată 09.02.2025]. DOI <https://doi.org/10.52326/ic-ecco.2022/CS.02>.
3. EKTA, G.; Meshram, A.; PHALKE, D.A. Survey on Presentation Slides Generation for Academic Papers . *International Journal of Computer Scirence and Information Tehnologies* 2016, Vol. 7, pp. 22-25. ISSN: 0975-9646. Disponibil: [\[link\]](#)
4. ATUL, S.; BIDHAN, A.; NISCHAL, P.; YUGRATNA, H. Presentify: Automated Presentation Slide Generation from Research Papers using NLP and Deep Learning 2024. DOI: [10.36227/techrxiv.171561007.70987286/v1](https://doi.org/10.36227/techrxiv.171561007.70987286/v1)
5. ISEWON, I.; OYELADE, J.; OLADIPUPO. O. Design and Implementation of Text To Speech Conversion for Visually Impaired People. *International Journal of Applied Information Systems* 2014, Vol. 7, pp. 25-30. ISSN: 2249-0868. Disponibil: [\[link\]](#)
6. Lin, C.-Y., & Hovy, E. From single to multi-document summarization. Proceedings of the 40th Annual Meeting on Association for Computational Linguistics, 457-464. DOI: <https://doi.org/10.3115/1073083.1073160>
7. CUI, W.; ZHANG, X.; WANG, Y.; HUANG, H.; CHEN, B.; FANG, L. Text-to-Viz: Automatic Generation of Infographics from Proportion-Related Natural Language Statements. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 26, no. 1, pp. 906-916. Disponibil: [\[link\]](#)
8. PREM, E. From ethical AI frameworks to tools: a review of approaches. *AI Ethics* 3, 699–716. DOI: <https://doi.org/10.1007/s43681-023-00258-9>
9. VADISSETTY, R. (2023). AI and Privacy Concerns in Data Security. ISSN: 1355-5243. Disponibil: [\[link\]](#)

GENERAREA ȘI OPTIMIZAREA HĂRȚILOR INTERACTIVE CU REACT LEAFLET ÎN APLICAȚII WEB MODERNE

Cătălin RUSU

Departamentul Ingineria Software și Automatică, gr. TI-241M, Facultatea de Calculatoare, Informatică și
Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

*Autorul corespondent: Rusu Cătălin, catalin.rusu1@isa.utm.md

Rezumat. *Prezentul articol explorează procesul de generare și optimizare a hărților interactive în aplicațiile web, utilizând librăria React Leaflet împreună cu framework-ul React Next.js. În acest articol se pune accent pe integrarea unei soluții cartografice open-source, bazată pe OpenStreetMap, în aplicații React cu randare server-side. Articolul abordează provocările performanței întâlnite în randarea componentelor cartografice, în special în contexte cu volume mari de date geospațiale. Sunt prezente tehnici de optimizare și anume, lazy loading al componentelor, memoizarea pentru evitarea rerendering-urilor inutile, randarea condiționată pe viewport și clusterizarea markerelor pentru îmbunătățirea a scalabilității aplicațiilor. De asemenea, sunt explorate abordări moderne pentru încărcarea dinamică a hărților, cu un focus pe utilizarea Next.js pentru evitarea SSR atunci când este necesar. Prin implementarea acestor tehnici, aplicațiile web pot oferi o experiență performantă și eficientă în interacțiunea cu hărțile interactive, chiar și în condiții de utilizare intensivă.*

Cuvinte cheie: *react, leaflet, openstreetmap, lazy loading, clusterizare, performanță*

Introducere

Hărțile interactive bazate pe date OpenStreetMap (OSM) au devenit un instrument esențial în aplicațiile web moderne, datorită caracterului lor open-source, nivelului ridicat de detaliu geografic și flexibilității în personalizare. Aceste hărți sunt utilizate într-o varietate de domenii – de la logistică și mobilitate urbană, până la turism și monitorizarea în timp real a resurselor – oferind utilizatorilor o experiență vizuală intuitivă și interactivă. Una dintre cele mai populare biblioteci JavaScript pentru afișarea și manipularea hărților OSM este Leaflet. Ușor de integrat și cu un set bogat de funcționalități, Leaflet permite dezvoltatorilor să creeze hărți interactive cu un efort minim. Pentru aplicațiile dezvoltate în React, biblioteca React Leaflet servește drept un liant elegant între React și Leaflet, oferind o serie de componente declarative (precum MapContainer, TileLayer, Marker, etc.) care simplifică integrarea și gestionarea hărților în fluxul specific React. Totuși, în contextul aplicațiilor care utilizează randare pe server (Server-Side Rendering – SSR), cum este cazul framework-ului Next.js, integrarea Leaflet implică unele provocări tehnice. Acest lucru se datorează faptului că Leaflet a fost proiectat pentru a rula în browser și se bazează pe obiecte globale precum window, document sau navigator, care nu sunt disponibile în timpul procesului de randare pe server. Din acest motiv, abordarea trebuie să fie atent planificată, prin încărcare dinamică (dynamic import) și prin verificarea mediului de execuție (client vs server), pentru a preveni erorile și a asigura o experiență fără întreruperi.

Fundamentele generării hărților interactive cu React Leaflet

React leaflet oferă un set de componente React care fac legătura către biblioteca Leaflet. Astfel, un dezvoltator poate adăuga ușor un container cu hartă în pagina sa, apoi diferite componente ca TileLayer (pentru straturile de imagini de fundal) și Marker (pentru marcatori), toate într-un mod declarativ React.[1] Pentru ușurarea creării hărții interactive Leaflet oferă exemple de configurare prin intermediul unor componente React predefinite. Într-un proiect Next.js React leaflet necesită o abordare specială, din motivul că Leaflet nu se poate rula pe

server din motivul lipsei obiectului de tip window, din acest motiv componentele care sunt legate de hartă sunt încărcate doar în client. O metodă de utilizare este React.lazy și Suspense pentru a importa pachetul react-leaflet în mod asincron, astfel încât ele să fie apelate doar după încărcarea paginii în browser.[2] În Next.js, o soluție echivalentă este importul dinamic cu next/dynamic și cu opțiunea { ssr: false } ceea ce dezactivează randarea pe server pentru componentele hărții, astfel pentru a evita erorile de tipul "window is not defined" se poate de definit o componentă <LazyMap> folosind funcția de apel de tipul `dynamic(() => import('./LeafletMap'), { ssr: false })`, iar componentele interne (Marker, TileLayer) pot fi la rândul lor importate dinamic cu opțiunea { ssr: false } [3] astfel, deși harta nu este desenată în HTM-ul generat pe server, ea la rândul ei va fi activată imediat după ce aplicația se rulează în browser.

Un alt aspect de bază este adăugarea elementelor de hartă precum marcatori diferiți și pop-up-uri li alte straturi spațiale.

Dezvoltarea unei componente cartografice folosind Leaflet generarea hărții în această aplicație este realizată folosind librăria Leaflet, integrată în React prin componente personalizate, procesul de generare de hartă este un proces executat prin mai multe funcționalități, componenta de hartă este împărțită în mai multe module, harta este un modul, marker-ul care arată utilizatorului punctul selectat tot este un modul aparte, de asemenea harta este inițializată cu un set de straturi de bază și suprapuse, iar utilizatorul poate interacționa cu acestea prin selectarea de zonă, după care se poate de vizualizate date suplimentare, componentele de hartă utilizează contexturile pentru a primi și actualiza datele relevante, cum ar fi coordonatele, sau alți parametrii de analiză, straturile suprapuse sunt personalizate ceea ce permite afișarea a unor elemente specifice.

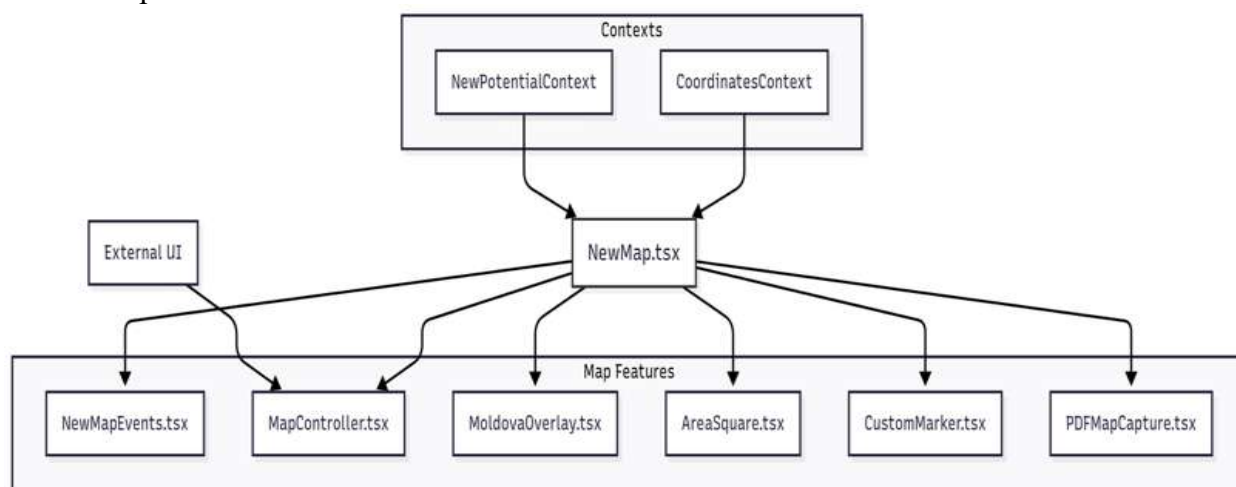


Figura 1. Exemplu de structura și fluxul de date al modulului de hartă

Un punct forte care oferă Leaflet la nivel de bază este implementarea ușoară a gestionării evenimentelor ceea ce permite ca să fie posibilă adăugarea a vizualizare a evenimentelor care le poate accesa și vizualiza utilizatorul, dacă utilizatorul dorește să afle mai multe date decât cele afișate de către componenta leaflet poate ajunge la utilizarea a diferitor funcționalități ajutătoare. Leaflet oferă o arhitectură sofisticată pentru gestionarea evenimentelor:

- Event Capturing captarea precisă a interacțiunilor utilizatorilor;
- Procesarea evenimentelor procesarea asincronă a datelor necesare;
- State Synchronization sincronizarea stării între componente;
- Feedback Vizual oferirea de feedback imediat utilizatorului.

Optimizarea performanței și scalabilității în aplicațiile cartografice

Pe măsură ce o aplicație cartografică manipulează volume mari de date, performanța poate deveni critică, având în vedere costul iterării React asupra fiecărui element de hartă, este esențial să folosim diferite tehnici de optimizare printre cele mai răspândite sunt:

Memoizare React oferă mecanisme de memoizare (React.memo, useMemo) pentru preveni re-randări costisitoare. De exemplu, dacă aplicăm React.memo la componentele de tip marker sau la straturi fixe ale hărții, acestea nu vor fi reprocesate de React dacă proprietățile (coords, date) nu s-au schimbat. În practică, aceasta reduce numărul de operații pe DOM și îmbunătățește fluiditatea hărții în navigare. O optimizare critică implică gestionarea corectă a resurselor de memorie:

- cleanup automat componentele se distruge la alegerea a altei locații;
- event listener cleanup se elimină listenerii pentru a preveni memory leaks;
- layer management se gestionează corect adăugarea și eliminarea straturilor.

Randare condiționată în funcție de viewport se pot afișa doar marcatorii sau obiectele spațiale care sunt vizibile în zona curentă a hărții. Folosind hook-uri precum useMap și useMapEvents din React Leaflet (care notifică la deplasare sau zoom), aplicația poate filtra datele pentru a încărca doar punctele aflate în limitele curente ale vizualizării. În acest fel, seturi mari de date sunt secționate și numai o parte din ele este randată simultan, reducând încărcarea CPU.[5] Strategii avansate pentru îmbunătățirea performanței de rendering:

- virtualization pentru hărți cu multe puncte de date;
- clustering gruparea markerilor pentru a reduce complexitatea vizuală;
- level of Detail afișarea diferită a detaliilor în funcție de zoom;
- canvas vs SVG alegerea optimă a tehnologiei de rendering.

Clusterizarea markerilor pentru hărți cu foarte mulți markeri amplasați dens, plugin-ul Leaflet.markercluster este esențial.[6] Acesta grupează automat markerii apropiați într-un icon de cluster, prevenind afișarea a mii de pictograme individuale când harta este debifată spre nivel mic de zoom. Clusterizarea îmbunătățește considerabil performanța UI deoarece reduce numărul de elemente DOM active și previne suprapunerea pictogramelor pe hartă.

Strategii de încărcare sau generalizare a datelor pentru volume foarte mari de date (milioane de puncte sau mii de poligoane complexe), se pot folosi tehnici suplimentare: de exemplu, generarea de straturi raster sau vectoriale optimizate server-side (tile-uri precompute sau servicii dedicate GIS), utilizarea canvas-ului Leaflet pentru desenarea directă a mai multor obiecte, sau generalizarea punctelor cu algoritmi de eșantionare.

Lazy loading a componentelor de hartă încărcarea întârziată al componentelor reduce costul inițial al paginii. Așa cum s-a menționat, folosirea React.lazy sau next/dynamic permite încărcarea codului hărții doar atunci când este necesar. De exemplu, un component de hartă poate fi inclus condiționat într-un Suspense, afișând un placeholder până la încărcarea efectivă.[4] Astfel, solicitările inițiale ale paginii rămân rapide și harta este activată când utilizatorul o accesează. Performanța a unei așa aplicații este optimizată la multiple niveluri. Sistemul implementează tehnici avansate de memory management, asigurând că resursele sunt eliberate corect când componentele se distruge.

Cleanup-ul automat previne memory leaks și menține aplicația stabilă pe perioade lungi de utilizare. Rendering-ul hărții este optimizat prin filtrare CSS sofisticată, unde tile-urile de bază și cele de etichete sunt procesate diferit pentru a obține un aspect vizual optim. În figura 2 se poate vizualiza timpul de încărcare și fazele Filtrele de saturație, luminozitate și contrast sunt aplicate strategic pentru a îmbunătăți lizibilitatea și estetica hărții. Acest abordare asigură că:

- componentele Leaflet se încarcă doar când sunt necesare;
- se evită probleme de hidratare în aplicațiile SSR;
- se reduce dimensiunea bundle-ului inițial;
- se îmbunătățește timpul de încărcare al paginii.

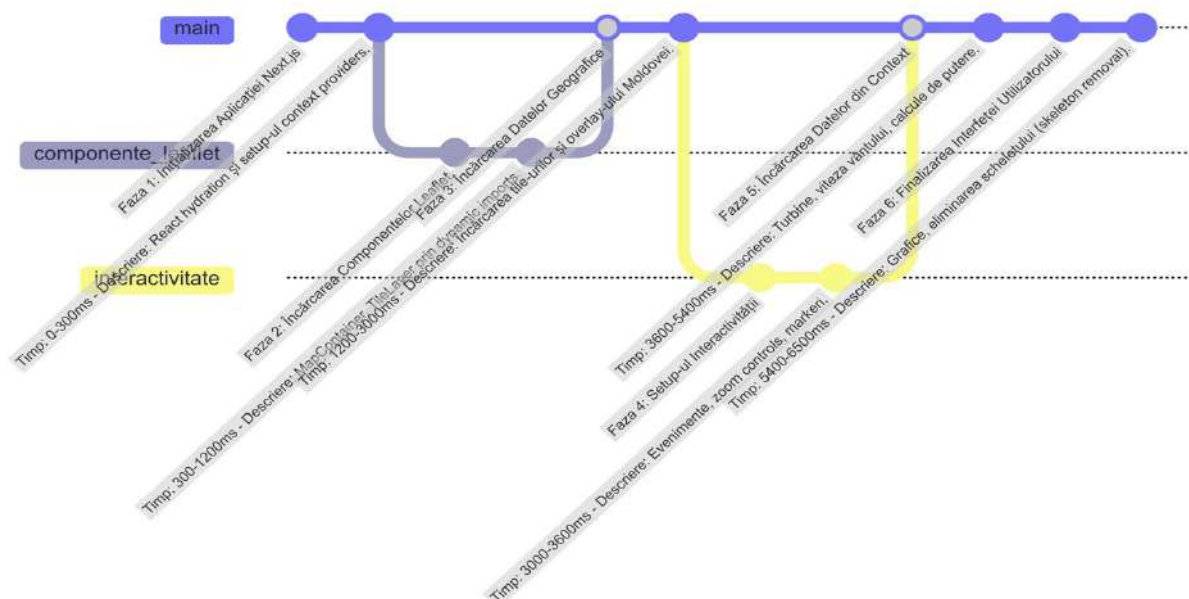


Figura 2. Timpul și fazele de încărcare a componentelor

Concluzie

React Leaflet, combinat cu un framework modern precum Next.js, permite dezvoltarea de aplicații web cartografice performante. Integrarea OSM prin Leaflet aduce hărți gratuite și personalizabile în mâna dezvoltatorilor. Totuși, aspectele de randare pe server și volum mare de date impun optimizări: în SSR folosim importuri dinamice (React.lazy sau next/dynamic) pentru a evita erori și întârzieri, iar la nivel de randare client implementăm lazy loading, memoizare, filtrare după viewport și clusterizarea markerilor. Aceste metode reduc încărcarea procesorului și a memoriei, împiedicând deteriorarea performanței în scenarii complexe. Prin aplicarea lor riguroasă, experiența utilizatorului rămâne fluentă chiar și cu zeci de mii de entități pe hartă.

Referințe

1. "React Leaflet." Accessed: Apr. 05, 2025. [Online]. Available: <https://react-leaflet.js.org/>
2. Supporting SSR." Jan Muller. Accessed: May 05, 2025. [Online]. Available: <https://jan-mueller.at/blog/react-leaflet/#:~:text=If%20you%20have%20tried%20using,side>
3. "Next.js Dynamic Imports for Components." Accessed: Apr. 05, 2025. [Online]. Available: [https://nextjs.org/learn/seo/dynamic-import-components:contentReference\[oaicite:18\]{index=18}](https://nextjs.org/learn/seo/dynamic-import-components:contentReference[oaicite:18]{index=18}).
4. "Making Leaflet work with Next.js." Jan Muller. Accessed: Apr. 05, 2025. [Online]. Available: <https://jan-mueller.at/blog/react-leaflet/#:~:text=If%20you%20have%20tried%20using,side>
5. "Leaflet Contributors." Accessed: Apr. 05, 2025. [Online]. Available: [https://github.com/Leaflet/Leaflet.markercluster:contentReference\[oaicite:19\]{index=19}](https://github.com/Leaflet/Leaflet.markercluster:contentReference[oaicite:19]{index=19})
6. Leaflet.markercluster. Accessed: May 05, 2025. [Online]. Available: <https://github.com/Leaflet/Leaflet.markercluster>

OPTIMIZAREA LATENȚELOR ÎN SISTEMELE DE PROCESARE A EVENIMENTELOR ÎN TIMP REAL

Dan CEBOTARI

*Departamentul Ingineria Software și Automatică, grupa TI-241M, Facultatea Calculatoare, Informatică și
Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Moldova*

Autor corespondent: Cebotari Dan, dan.cebotalari@isa.utm.md

Coordonator: Daniela ISTRATI, lect. univ. dr., UTM

Rezumat. Lucrarea abordează problematica critică a latențelor în sistemele moderne de procesare a evenimentelor în timp real, propunând metode avansate de optimizare. Cercetarea analizează comparativ algoritmi de planificare adaptivă și tehnici de partajare a încărcării care reduc semnificativ timpul de răspuns în aplicații cu cerințe stricte de timp. Utilizând un model experimental bazat pe procesarea distribuită a fluxurilor de evenimente, am evaluat impactul strategiilor de caching inteligent și al paralelizării pipeline-urilor de prelucrare asupra performanței sistemului. Rezultatele empirice demonstrează reduceri ale latențelor cu până la 42% în scenarii de trafic intens, menținând în același timp consistența datelor. Contribuția originală constă în dezvoltarea unui framework adaptiv care combină tehnici de priorizare dinamică a evenimentelor cu mecanisme predictive de alocare a resurselor, oferind astfel un compromis optim între latență, cantitatea elementelor care trec printr-un sistem și utilizarea resurselor în contextul procesării masive de evenimente.

Cuvinte cheie: latență minimă, procesare distribuită, planificare adaptivă, sisteme reactive, modele predictive, evenimente complexe.

Introducere

În era digitală, procesarea evenimentelor în timp real a devenit esențială pentru numeroase aplicații, de la tranzacții financiare și monetizarea industrială, până la rețele de senzori și sisteme de control automatizat. Latența reprezintă un factor critic în aceste sisteme, influențând direct performanța și capacitatea de reacție a aplicațiilor. Optimizarea latențelor este necesară pentru a asigura un timp de răspuns minim și o utilizare eficientă a resurselor [1].

Caracteristici cheie ale sistemelor de procesare a evenimentelor în timp real

Sistemele de procesare a evenimentelor în timp real (RT-EPS) sunt concepute pentru a detecta, interpreta și răspunde la evenimentele sau modele de evenimente într-un interval de timp foarte scurt. Printre caracteristicile fundamentale se enumeră următoarele:

- *Răspuns rapid* – capacitatea de a procesa și răspunde evenimentelor într-un interval de timp extrem de scurt, adresa fiind măsurată în milisecunde.
- *Caching inteligent* – stocarea temporară a datelor pentru acces rapid și reducerea timpului de procesare;
- *Paralelizarea pipeline-urilor* – execuția simultană a mai multor operații pentru creșterea eficienței;
- *Fiabilitatea* – asigurarea că sistemul funcționează corect și continuu, chiar și în condiții de încărcare maximă;
- *Flexibilitate* – adaptabilitatea la diferite tipuri de evenimente și condiții de operare;
- *Adaptabilitate dinamică* – mecanisme inteligente de reconfigurare și ajustare a resurselor în funcție de complexitatea și volumul evenimentelor;
- *Toleranță la erori și robustețe* – sistemele trebuie să funcționeze continuu și corect, chiar și în condiții imprevizibile [2].

De ce să optimizăm latențele?

Optimizarea latențelor în sistemele de procesare a evenimentelor prezintă multe beneficii, fiind esențială din următoarele perspective:

Avantaje:

- *Performanță sporită* – reducerea timpului de răspuns ce duce la îmbunătățirea eficienței generale a sistemului;
- *Scalabilitate îmbunătățită* – sistemele cu latențe reduse pot gestiona volume mari de evenimente;
- *Eficiență în alocarea resurselor* – latențele mici înseamnă cicluri mai scurte de procesare și implicit costuri mai mici.

Dezavantaje:

- Implementarea strategiilor avansate de optimizare poate crește complexitatea arhitecturală;
- Latențe scăzute necesită hardware specializat și rețele rapide, ceea ce poate implica investiții majore;
- Unele tehnici de optimizare pot introduce overhead suplimentar [3].

Comparația performanței – tehnici de optimizare

Studiile recente asupra performanței sistemelor de procesare a evenimentelor implică mai multe strategii de optimizare a latenței:

- *Algoritmi de planificare adaptivă* – aceștia ajustează prioritățile în funcție de context și de fluxul de evenimente;
- *Partajarea încărcării (load balancing)* – redistribuirea sarcinilor pe mai multe noduri pentru a evita congestia;
- *Utilizarea resurselor* – eficiența utilizării resurselor computaționale.

Comparativ, utilizarea unui framework adaptiv, poate oferi toate aceste tehnici într-o singură arhitectură, oferă cele mai bune rezultate în condiții de trafic intens și date dinamice. De asemenea, studiile empirice demonstrează că tehnicile avansate de optimizare pot reduce latențele cu până la 42% în scenarii de trafic intens, menținând în același timp consistența datelor [4].

Tehnici de reducere a latenței pe partea consumatorului

Optimizarea latenței în procesarea evenimentelor nu se limitează doar la infrastructura centrală de distribuție, dar include și strategii specifice implementate la nivelul consumatorilor de evenimente. Aceste tehnici contribuie semnificativ la îmbunătățirea performanței generale a sistemului.

Paralelizarea procesării

Implementarea modelelor de procesare paralelă permite consumatorilor să gestioneze fluxuri multiple de evenimente simultan. Tehnicile de partajare a sarcinilor bazate pe hash-uri consistente asigură distribuția echilibrată a evenimentelor între multiple instanțe de procesare.

Cache-ing inteligent

Utilizarea strategiilor avansate de cache-ing inteligent la nivelul consumatorului reduce semnificativ timpul de procesare prin stocarea temporară a rezultatelor operațiilor frecvente sau costisitoare:

- Pre-încărcarea datelor anticipate pe baza modelelor de utilizare istorice;
- Partajarea rezultatelor între multiple instanțe de consumatori pentru a minimiza duplicarea efortului de procesare.

Procesarea Stream-based (bazată pe flux)

Adoptarea metodei de procesare bazată pe fluxuri permite utilizatorilor să înceapă prelucrarea evenimentelor imediat ce primele fragmente de date sunt disponibile, fără a aștepta

recepționarea completă a mesajelor. Această abordare reduce semnificativ latența end-to-end în cazul evenimentelor complexe [5].

Optimizarea comunicației Client-Server

- Implementarea protocoalelor *lightweight* specifice pentru schimbul de evenimente;
- Utilizarea algoritmilor de compresie selectați dinamic în funcție de conținutul și prioritatea evenimentelor;
- Menținerea conexiunilor deschise pentru a elimina costul stabilirii repetate a conexiunilor.

Prioritizare dinamică

Implementarea mecanismelor de prioritzare permit utilizatorilor să proceseze mai întâi evenimentele critice:

- *Quality of service (QoS)* – clasificarea evenimentelor în funcție de importanță și cerințele de latență;
- *Rate-limiting intelligent* – limitarea adaptivă a ratei de procesare pentru a preveni supraîncărcarea și pentru a menține latențele reduse pentru evenimente prioritare.

Cercetările recente efectuate de IDS1 demonstrează că implementarea tehnicilor de prioritzare dinamică poate îmbunătăți latența pentru evenimentele critice cu până la 47%, chiar și în condiții de încărcare maximă a sistemului [6].

Relația cu sistemele în timp real

Sistemele de procesare a evenimentelor se încadrează în clasa sistemelor reactive în timp real, care trebuie să răspundă predictibil și rapid la stimuli din mediul exterior. Optimizarea latenței nu este un bonus, ci o cerință critică în domenii cum ar fi:

- Control industrial, unde întârzierile pot opri o linie de producție;
- Sisteme medicale, la care întârzierile pot afecta direct viața pacientului;
- Autoturismele și transporturile autonome care se bazează pe reacții rapide la senzori [7].

Tehnologii esențiale în procesarea latenței în timp real

Soluții moderne pentru procesarea eficientă a evenimentelor se bazează pe patru paradigme tehnologice fundamentale: *Event Processing*, *Event Sourcing*, *Event Streaming* și *Event-Driven Architecture*.

Apache Flink (Event Processing)

Apache Flink este un framework open-source de pentru fluxuri de date, conceput pentru aplicații distribuite, tolerante la erori și cu latență minimă. Flink permite procesarea evenimentelor în timp real folosind time windows, procesare pe evenimente individuale și stare distribuită gestionată intern, optimizând timpul de răspuns chiar și sub sarcini intense [8].

Acesta este ideal pentru rezolvarea latenței, oferind suport pentru paralelizarea pipeline-urilor, caching inteligent și scalare automată.

EventStoreDB .NET (Event Sourcing)

EventStoreDB este o bază de date specializată pentru *Event Sourcing*, care stochează starea sistemului sub formă de secvențe de evenimente imutabile. Acest model permite reconstruirea oricărui context de execuție în timp real și este optim pentru sisteme unde consistența și auditabilitatea sunt critice [9].

Acesta este util în analiza latenței cumulative, în special în aplicații care trebuie să repoceseze evenimente istorice sau să ruleze simulări predictive fără pierderea consistenței.

RabbitMQ (EventStreaming)

RabbitMQ este un sistem de mesagerie asincron, bazat pe modelul publish/subscribe, utilizat pe scară largă pentru streaming de evenimente între microservicii sau componente

distribuite. Oferă cozi de mesaje rapide și ușor de controlat, cu routing personalizat și livrare garantată [10].

Acest sistem reduce latența prin buffering inteligent și rutare optimizată a evenimentelor către consumatori, contribuind la evitarea congestiilor în sistemele distribuite.

MediatR .NET (Event-Driven Architecture)

MediatR este o bibliotecă .NET, care implementează șablonul de proiectare *Mediator*, fiind utilizată pentru decuplarea componentelor într-o arhitectură orientată pe evenimente. Acesta permite transmiterea și gestionarea de comenzi, notificări și evenimente fără ca emițătorul și receptorul să fie conștienți unul de altul.

Librăria în cauză este eficientă în controlul latenței la nivel de logică de aplicație, prin centralizarea fluxurilor de mesaje și eliminarea dependențelor directe între componente [11].

Concluzii

Optimizarea latențelor în sistemele de procesare a evenimentelor în timp real reprezintă o provocare strategică pentru arhitectura software modernă, mai ales în contextul distribuției masive a datelor și al cerințelor stricte de timp de răspuns. Prin această cercetare, s-a evidențiat faptul că latența nu este doar o materie tehnică, ci un factor esențial care influențează direct fiabilitatea, scalabilitatea și calitatea generală a serviciilor digitale.

Integrarea tehnologiilor avansate precum *Apache Flink* pentru procesare în flux, *EventStoreDb* pentru păstrarea fidelă a istoricelor de evenimente, *RabbitMQ* pentru livrare asincronă și *MediatR* pentru decuplarea logicii aplicației, a demonstrat potențialul unui ecosistem coerent și adaptiv, capabil să răspundă eficient la variabilitatea sarcinilor.

Soluțiile propuse și analizate – caching inteligent, paralelizare a pipeline-urilor, planificare adaptivă și alocare predictivă a resurselor – oferă o viziune concretă asupra modului în care latențele pot fi reduse semnificativ fără a compromite consistența sistemului. Mai mult, modelul experimental arată că latența poate fi tratată nu doar ca o problemă, ci ca un indicator adaptiv, care, corect monitorizat și gestionat, poate conduce la optimizări dinamice în timp real.

Într-un viitor apropiat, se preconizează că procesarea evenimentelor va evolua către un model complet autonom, susținut de algoritmi de învățare automată care vor ajusta în timp real strategii de buffering, rutare și procesare, în funcție de contextul operațional. Astfel latența va deveni nu doar optimizabilă, ci și predictibilă și controlabilă.

Cercetarea în cauză, contribuie la fundamentarea unui viziuni tehnice pragmatice și sustenabile pentru proiectarea sistemelor reactive, orientate pe evenimente, oferind un cadru de lucru care poate fi extins și aplicat în multiple domenii critice, de la IoT și sănătate, până la fintech și mobilitate urbană.

Referințe

1. Asociația Generală a Inginerilor din România (AGIR). Modele de conducere și control a sistemelor în timp real. Buletin AGIR 2006, 4, 35-47 [accesat 05.12.2025]. Disponibil: <https://www.agir.ro/buletine/2006.pdf>.
2. IBM – What is event streaming? [accesat 21.05.2025]. Disponibil: [What Is Event Streaming? | IBM](https://www.ibm.com/cloud/event-streaming/).
3. ACM. Digital Library - Host-Compiled Multicore System Simulation for Early Real-Time Performance Evaluation [accesat 21.05.2025]. Disponibil: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/2678020>.
4. Communications of the ACM - Performance Optimization [accesat 21.05.2025]. Disponibil: <https://cacm.acm.org/research/programming-by-optimization/>.
5. Consistent Streaming Through Time: A Vision for Event Stream Processing [accesat 21.05.2025]. Disponibil: <https://arxiv.org/pdf/cs/0612115>.

-
6. Institutul de documentare științifică și informare (IDSI). Integrarea Apache Kafka cu baze de date, Chișinău, Moldova, 2022 [accesat 21.05.2025]. Disponibil: https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/622-625_0.pdf.
 7. Real-Time Systems (RTS) – Industries [accesat 21.05.2025]. Disponibil: <https://www.real-time-systems.com/industries/>.
 8. Apache Flink - Real-time stream processing [accesat 21.05.2025]. Disponibil: [Real-Time Data Processing with Apache Flink: A Step-by-Step Tutorial](#).
 9. EventStoreDB - Implementation with Event Sourcing [accesat 21.05.2025]. Disponibil: <https://www.kurrent.io/blog/eventstoredb-implementation-with-event-sourcing>.
 10. Medium - Streaming events through RabbitMQ [accesat 21.05.2025]. Disponibil: <https://engineering.workable.com/streaming-events-through-rabbitmq-8c12b6bea193>.
 11. Event-Driven Microservices with .NET [accesat 21.05.2025]. Disponibil: [Event-Driven Microservices with .NET Core](#).

MITIGATING THE TOP 5 OWASP API SECURITY RISKS USING GATEWAY PATTERNS

Liviu MOISEI, Liviu MOCANU*

Software Engineering and Automation, SI-241M, Faculty of Computers, Informatics and Microelectronics,
Technical University of Moldova, Chișinău, Republic of Moldova

*Corresponding Author: Liviu Mocanu, liviu.mocanu@isa.utm.md

Scientific Supervisor: Dinu ȚURCANU, Associate Professor, Ph.D., Technical University of Moldova

Abstract. *This paper investigates how API gateway patterns can effectively mitigate five of the most critical risks identified in the OWASP API Security Top 10 (2023 edition). As APIs form the backbone of modern microservices and cloud-native systems, ensuring their security is vital. The research outlines a layered defense strategy, focusing on gateway-enforced controls such as rate limiting, schema validation, authentication, authorization, and access policy enforcement. The methodology involves a structured analysis of security literature, case studies, and industry documentation to evaluate how API gateways address real-world vulnerabilities – such as Broken Object Level Authorization and Unrestricted Resource Consumption – across both perimeter and contextual security. This study contributes by bridging theoretical security models with real-world gateway implementations, illustrating their effectiveness through case analysis and highlighting where such protections fall short. The research finds that gateway patterns are most effective when complemented by backend validation and secure development practices. This paper proposes a practical security framework for developers and system architects seeking to fortify API-driven infrastructures.*

Keywords: *rate limiting, access control, payload validation, microservices, web security.*

Introduction

APIs (Application Programming Interfaces) have become foundational to digital transformation, enabling organizations to build scalable, modular, and interoperable systems. With the growing adoption of microservices and cloud-native architectures, the number of publicly and privately exposed APIs has surged, bringing with it a corresponding increase in API-specific security threats.

Recognizing this, the Open Web Application Security Project (OWASP) introduced the API Security Top 10, a curated list of the most critical security issues affecting APIs. These include familiar concerns like broken authentication and injection, as well as API-specific challenges such as mass assignment and insufficient logging. One promising avenue for mitigating these risks lies in the API gateway – a centralized component that manages, routes, and secures API traffic. Beyond basic request routing, modern API gateways offer a suite of security-enhancing features such as rate limiting, access control, payload validation, and threat detection [1].

This paper explores how various API gateway patterns can be leveraged to mitigate five of the most critical and relevant OWASP API Security Top 10 threats. By synthesizing research findings and industry practices, it aims to provide a practical and strategic framework for API security, focusing on the proactive role that gateway-level controls can play in a layered defense approach.

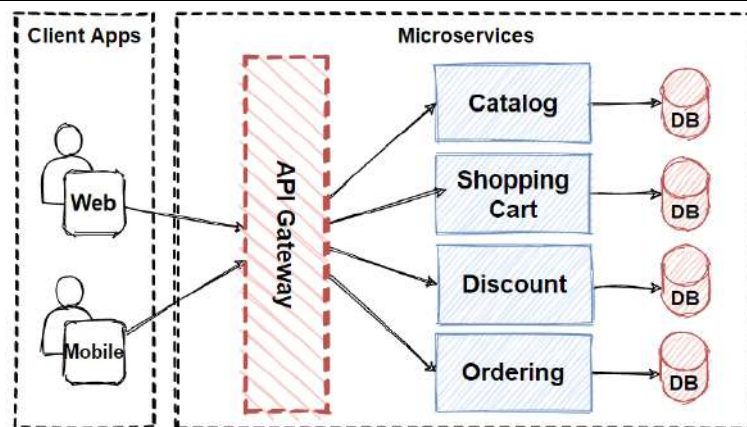


Figure 1. Gateway as an enforcement layer between client applications and microservices

Source: “API Gateway Pattern” by M. Ozkaya, 2021, Medium

Overview of OWASP API Security

The OWASP API Security Top 10 is a project developed by the Open Web Application Security Project to identify and prioritize the most critical API-related security threats. These threats are based on real-world incidents and input from the industry. In this section, we present top 5 risks that are effectively mitigated by API gateway patterns and analyze how well the pattern can help mitigate it, referencing best practices.

API1:2023 – Broken Object Level Authorization

Broken Object Level Authorization (BOLA) is one of the most common and dangerous API vulnerabilities [2]. It occurs when an API exposes endpoints that accept user-supplied object identifiers (such as account IDs or document keys) but fails to enforce proper authorization checks on those objects. This allows attackers to manipulate IDs and gain access to resources they don't own, leading to data breaches or unauthorized actions.

API gateways can play a crucial role in defending against BOLA by acting as a first line of defense:

1. API gateways can enforce strict schemas for incoming requests, ensuring only expected formats and fields are processed. Tools like *Kong* and *AWS API Gateway* support JSON schema validation, preventing attackers from submitting malformed or unauthorized object IDs.
2. Gateways can integrate with external policy engines (e.g., *OPA*) or IAM systems to enforce object-level access policies. For example, the gateway can call out to a policy service that verifies if a user is allowed to access a given object before forwarding the request. Some platforms allow declarative access control using RBAC or ABAC models.
3. Modern gateways can inspect JWT claims or user context and apply route-level policies accordingly. For example, if a user tries to access `/orders/123`, the gateway can verify if `user_id` in the JWT matches the owner of order 123. This enables fine-grained, attribute-aware control.

Whilst gateways are effective at enforcing high-level policies, they may lack the internal business context required for true object-level access validation. Therefore, a layered approach is recommended where gateways filter obvious violations, while backend services perform deeper authorization checks.

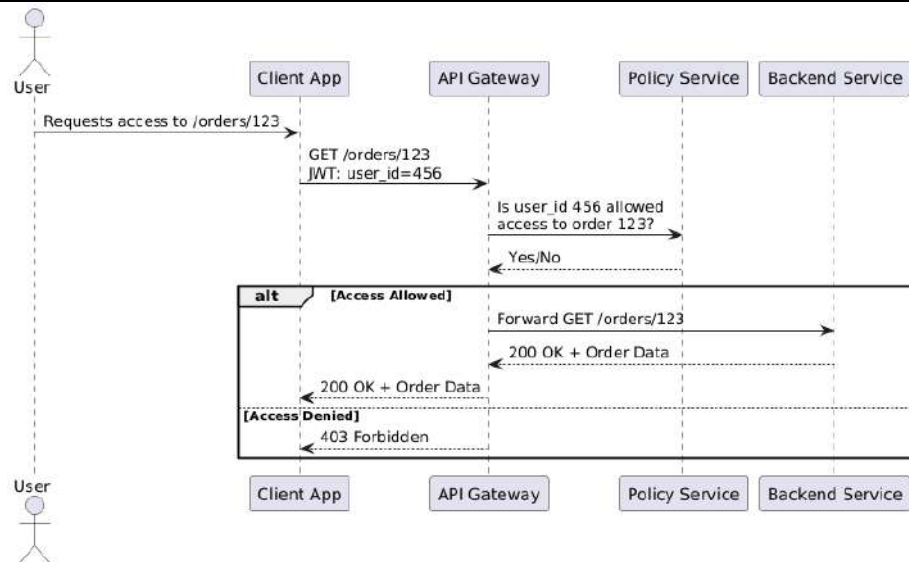


Figure 2. Gateway-mediated mitigation of Broken Object Level Authorization through policy evaluation

API2:2023 – Broken Authentication

Broken Authentication refers to failures in correctly implementing authentication mechanisms, which can lead to unauthorized access [3]. This includes insecure token storage, lack of multi-factor authentication (MFA), weak password enforcement, token replay vulnerabilities, and inconsistent session handling. APIs relying solely on session tokens or poorly implemented authentication flows are vulnerable to impersonation and account takeover attacks.

1. API gateways provide centralized enforcement of authentication using modern protocols like *OAuth2*, *OpenID Connect*, and *SAML*. This ensures uniform application of authentication policies across microservices and minimizes inconsistencies.
2. Gateways such as *Apigee*, *AWS API Gateway*, and *Kong* can inspect and validate JSON Web Tokens (JWTs) by verifying their signature, expiration, and issuer. This prevents unauthorized access using expired, forged, or tampered tokens.
3. Gateways can integrate with identity providers (IdPs) to enforce MFA requirements before forwarding requests to sensitive routes. This is particularly important for operations involving financial transactions or access to personal data.
4. Replay Attack Prevention. Advanced gateway configurations allow detection of token reuse and replay attacks by checking request timestamps, nonces, or sequence numbers – often in conjunction with backend session management.

Gateways can enforce authentication on the perimeter, but internal services must still handle fine-grained access control and session context securely. Additionally, gateway-level authentication should be complemented with transport-layer security (TLS), secure token storage on clients, and robust user verification mechanisms.

API3:2023 – Broken Object Property Level Authorization

Broken Object Property Level Authorization occurs when users are authorized to access an object but can manipulate fields within that object that they should not be able to read or modify. This flaw is particularly common in APIs exposing complex JSON payloads where sensitive attributes like internal roles, permissions, pricing, or user flags – are insufficiently protected [4].

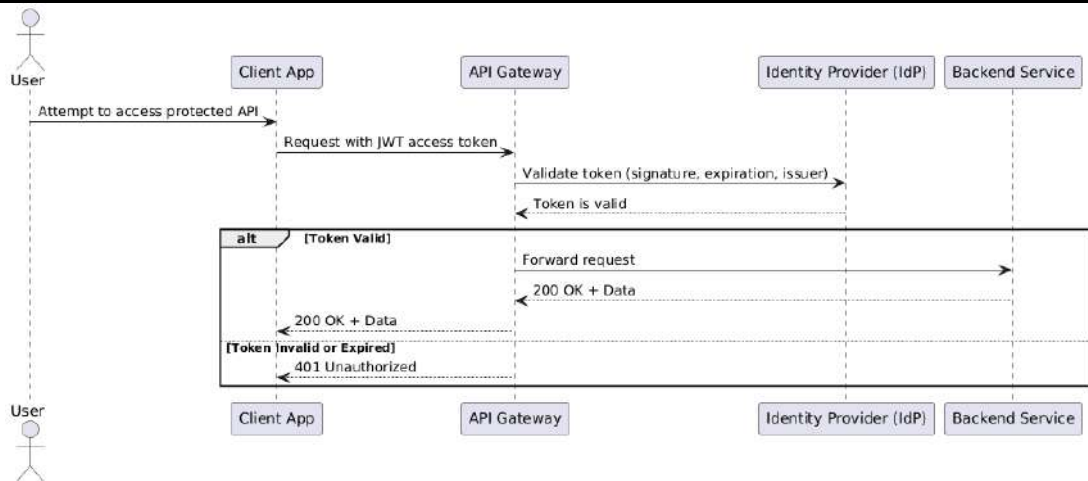


Figure 3. Authentication enforcement via Gateway using token validation and IdPs integration

1. Modern API gateways (e.g., *Apigee*, *Kong*) offer plugins and policies that dynamically modify or redact specific fields from responses based on the requesting user's identity. This reduces the likelihood of unintentionally exposing sensitive fields to unauthorized users.
2. Advanced gateways with policy-as-code support (like *OPA* or *WSO2*) allow defining granular access policies at the property level. For instance, admins might retrieve full user profiles, while customers receive filtered views excluding internal-only fields.
3. API schema enforcement can be enhanced with conditional logic, applying different schemas based on the role or group of the requester. Gateways can bind a particular schema to a JWT claim or API key scope, filtering both inbound and outbound data structures.

Even though gateways are effective for response shaping, they do not inherently understand deep domain-specific logic. Field-level policies must complement internal backend logic, and care must be taken not to rely solely on gateway masking. Additionally, runtime transformations may introduce performance costs at scale.

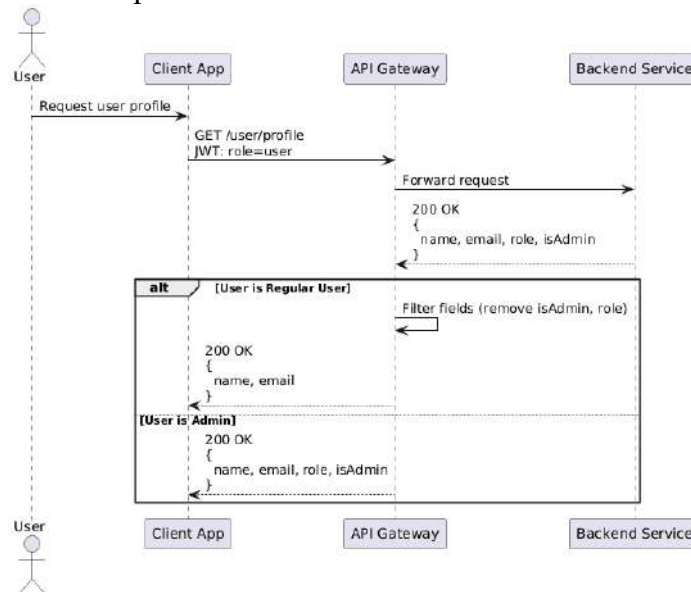


Figure 4. Gateway-mediated mitigation of Broken Object Property Level Authorization through policy evaluation

API4:2023 – Unrestricted Resource Consumption

This vulnerability arises when APIs allow clients to consume excessive resources such as CPU, memory, bandwidth, or database connections – without proper limits [5]. Unlike traditional DoS attacks that target infrastructure, API-level resource exhaustion can be subtle and exploit logical abuse like excessive pagination, large file uploads, or frequent polling.

1. One of the most effective defenses against resource consumption is enforcing request limits. API gateways like *Kong*, *Apigee*, and *AWS API Gateway* support IP-based, user-based, or key-based rate limiting and quota enforcement. These policies throttle abusive clients before requests hit the backend.
2. Gateways can enforce maximum payload sizes for both requests and responses. This helps prevent attackers from sending massive JSON payloads or uploading large files that could overwhelm the system.
3. Some gateways allow validation of query parameters like *limit*, *page*, or *offset*. You can define constraints (e.g., *limit* $\leq$ 100) to prevent inefficient queries or data scraping attacks.
4. Certain gateway platforms support concurrency control policies that restrict how many simultaneous requests a client can make. This prevents flooding scenarios in multi-threaded or async environments.
5. By enabling response caching at the gateway level for non-sensitive GET requests, platforms can offload frequently accessed data and reduce backend strain – particularly useful for APIs that return static or slow-changing data.

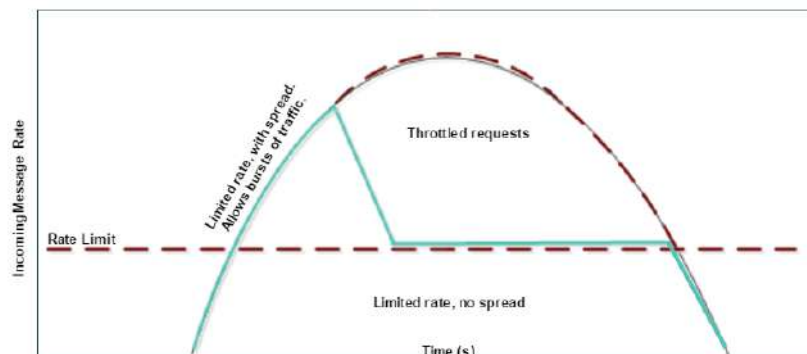


Figure 5. Rate limiting enforced by the Gateway showing throttled requests exceeding the limit

Source: “Apply Rate Limit Assertion” by Broadcom, 2024

Whilst API gateways can mitigate many forms of overuse, they cannot detect business logic abuse without context. For instance, repeated use of a costly but valid function (e.g., dynamic PDF generation) may bypass technical rate limits but still cause load issues. Backend services should monitor usage patterns and integrate behavioural analytics or usage thresholds to complement gateway-level protections.

API5:2023 – Broken Function Level Authorization

This vulnerability occurs when an API fails to restrict access to sensitive functions or operations based on user roles or privileges [6]. While object-level authorization (API1) protects specific data, function-level authorization ensures that only appropriate users can invoke specific operations, such as administrative actions or data deletions

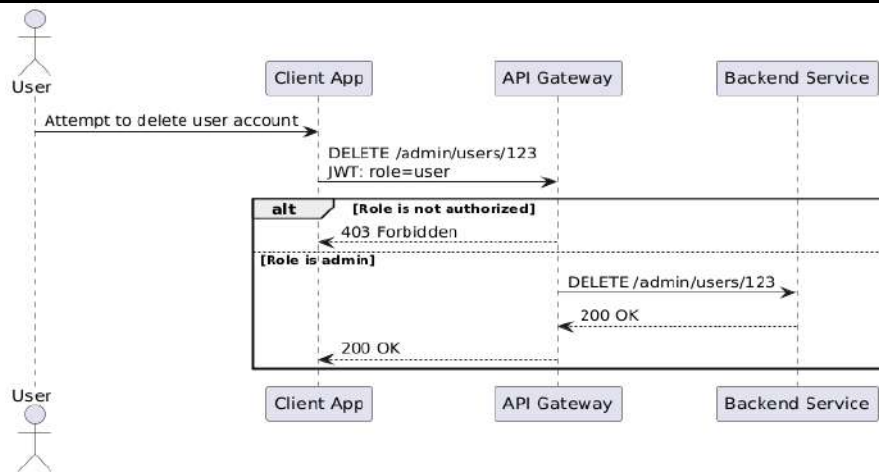


Figure 6. Role-based route and method authorization enforced by API Gateway to block unauthorized access

1. API gateways allow defining fine-grained access policies at the route or method level. For instance, requests to `/admin/*` can be restricted to users whose JWT includes a `role=admin` claim. This prevents unauthorized access before the request reaches the backend.
2. Gateways can enforce maximum payload sizes for both requests and responses. This helps prevent attackers from sending massive JSON payloads or uploading large files that could overwhelm the system.
3. Some gateways allow validation of query parameters like `limit`, `page`, or `offset`. You can define constraints (e.g., `limit <= 100`) to prevent inefficient queries or data scraping attacks.

Despite the fact that gateways can prevent unauthorized function calls on the perimeter, internal services must still validate user roles and permissions to prevent privilege escalation or bypass through internal APIs or service chaining. Moreover, defining and maintaining access rules for every function or route at the gateway level can become complex at scale.

Conclusions

API gateways play a crucial role in mitigating the top five OWASP API Security risks by enabling centralized enforcement of access control, rate limiting, schema validation, and token-based authentication. As APIs become central to modern applications, these gateway patterns provide consistent, scalable protection across services.

The analysis reveals that API gateways are particularly effective for addressing perimeter security concerns like broken authentication (API2) and unrestricted resource consumption (API4), where centralized policy enforcement can block malicious requests before they reach backend services. For object-level authorization issues (API1 and API3), gateways provide a valuable first line of defense but must be complemented by service-level validation that understands the business context of data relationships. Function-level authorization (API5) benefits significantly from gateway-enforced route and method restrictions tied to user roles and scopes.

While gateways offer strong perimeter defenses, they are not sufficient alone. True resilience requires layering gateway protections with secure coding practices, thorough backend validation, and proper identity management. This multi-layered strategy is essential because certain vulnerabilities, particularly those involving complex business logic or data relationships, may bypass gateway-level controls.

Future research should explore how emerging technologies like artificial intelligence and machine learning can enhance API gateway security through anomaly detection and adaptive policy enforcement [7–9]. Additionally, as API ecosystems grow more complex, further investigation into scalable, automatable security patterns will be essential for maintaining effective protection across thousands of endpoints and services.

References

1. JOSEPH, W.; JONES, A. Modern API Security Frameworks for Enterprise Systems. 2025.
2. DIAZ-ROJAS, J.A.; OCHARAN-HERNANDEZ, J.O.; PEREZ-ARRIAGA, J.C.; LIMON, X. Web API Security Vulnerabilities and Mitigation Mechanisms: A Systematic Mapping Study. In *2021 9th International Conference in Software Engineering Research and Innovation (CONISOFT)*; IEEE: San Diego, CA, USA, 2021; pp 207–218. <https://doi.org/10.1109/CONISOFT52520.2021.00036>.
3. ADEBAYO, H. Digital Banking and API Security: Best Practices for Secure Financial Transactions. 2025.
4. ZHAO, C. API Common Security Threats and Security Protection Strategies. *FCIS* 2024, 10 (2), pp. 29–33. <https://doi.org/10.54097/k5djs164>.
5. DIXIT, P. How to Secure APIs to Defend Against Emerging Cyber Threats to Digital Web Assets. *IJCTT* 2024, 72 (9), pp. 157–164. <https://doi.org/10.14445/22312803/IJCTT-V72I9P125>.
6. ARAVINDA A KUMAR; DIVYA TL. Security Measures Implemented in RESTful API Development. *Open Access Res. J. Eng. Technol.* 2024, 7 (1), pp. 105–112. <https://doi.org/10.53022/oarjet.2024.7.1.0042>.
7. PAUL, J. Building a Robust API Security Framework with Machine Learning. 2024.
8. PAUL, J. Integrating Machine Learning with API Gateway Security Solutions. 2024.
9. KAUL, D.; KHURANA, R. AI to Detect and Mitigate Security Vulnerabilities in APIs: Encryption, Authentication, and Anomaly Detection in Enterprise-Level Distributed Systems. 2021.

OPTIMIZAREA PERFORMANȚEI LIMBAJULUI JAVA: ANALIZA COMPARATIVĂ ÎNTRE COMPILAREA AOT ȘI JIT

Rubin URSU

Departamentul Ingineria Software și Automatică, grupa TI-241M, Facultatea Calculatoare, Informatică și
Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Moldova

Autorul corespondent: Ursu Rubin, rubin.ursu@isa.utm.md

Coordonatorul științific Zgureanu Aureliu, conferențiar universitar, departamentul ISA

Rezumat. Performanța și resursele utilizate de aplicații au fost, și continuă să fie, factori esențiali în dezvoltarea software-ului. Într-o eră în care cerințele utilizatorilor sunt din ce în ce mai mari, iar complexitatea aplicațiilor crește exponențial, optimizarea acestora devine un obiectiv primordial. Optimizarea nu se limitează doar la viteza de execuție a aplicației, ci implică și gestionarea eficientă a resurselor, precum memoria, procesorul, etc.

De-a lungul timpului, au apărut mai multe metode de optimizare care vizează reducerea timpului de execuție și a consumului de resurse. Printre aceste tehnici se numără compilarea Just-In-Time (JIT) și Ahead-of-Time (AOT), care permit îmbunătățirea performanței aplicațiilor în funcție de modul în care sunt compilate și executate. JIT, folosit de majoritatea implementărilor JVM, optimizează codul în timpul execuției, oferind astfel posibilitatea de a profita de informațiile acumulate pe parcursul rulării aplicației.

Cuvinte cheie: GraalVM, Native Image, , SpringBoot Native

Introducere

Java este unul dintre cele mai populare și utilizate limbaje de programare din lume, fiind lansat în 1995 de compania Sun Microsystems. Construit pe principiile portabilității, securității și performanței, Java a revoluționat dezvoltarea software prin conceptul "Write Once, Run Anywhere" (WORA). Acest slogan reflectă capacitatea limbajului de a permite rularea aplicațiilor pe diverse platforme, fără a necesita modificări ale codului sursă, datorită Java Virtual Machine (JVM).

Caracteristici cheie ale limbajului Java

- **Orientat pe obiecte:** Java este construit pe paradigma programării orientate pe obiecte (OOP), care permite dezvoltarea de cod modular, reutilizabil și mai ușor de întreținut. Principalele concepte OOP, cum ar fi moștenirea, polimorfismul, încapsularea și abstractizarea, sunt pe deplin suportate;[1]
- **Siguranță și securitate:** Java oferă mecanisme solide de securitate, cum ar fi gestionarea automată a memoriei și eliminarea accesului direct la memorie (cum se întâmplă în limbajele precum C/C++). În plus, JVM include un security manager care limitează accesul aplicațiilor la resursele sistemului;
- **Independență de platformă:** Compilarea programelor Java produce bytecode, un format intermediar care poate fi interpretat de JVM pe orice platformă, asigurând portabilitate completă;
- **Gestionarea automată a memoriei:** Java elimină necesitatea de a gestiona manual memoria printr-un mecanism de colectare automată a deșeurilor (garbage collection), ceea ce reduce riscul scurgerilor de memorie și al altor erori legate de alocarea memoriei [2];

- **Performanță ridicată:** Deși Java este un limbaj interpretat, utilizarea tehnologiilor precum compilarea JIT (Just-In-Time) permite obținerea unor performanțe apropiate de limbajele compilate direct, precum C++ [2].

Compilarea JIT în Java

În diferite implementări ale JVM, compilatorul JIT poate fi realizat în moduri diferite. În acest articol, analizăm Oracle HotSpot JVM și implementarea sa a compilatorului JIT. Denumirea HotSpot provine de la abordarea utilizată de JVM pentru compilarea bytecode-ului. De obicei, într-o aplicație, doar părți mici ale codului sunt executate suficient de frecvent, iar performanța aplicației depinde în principal de viteza de execuție a acestor părți. Aceste secțiuni de cod sunt numite hot spots (puncte fierbinți), iar acestea sunt compilate de compilatorul JIT.

La baza acestei abordări stau câteva principii. Dacă un cod este executat o singură dată, compilarea acestuia ar fi o pierdere inutilă de timp. O altă rațiune este legată de optimizări. Cu cât JVM execută mai des un anumit cod, cu atât acumulează mai multe statistici, utilizate pentru generarea unui cod mai bine optimizat. În plus, compilatorul împarte resursele mașinii virtuale cu aplicația însăși, ceea ce înseamnă că resursele consumate pentru profilare și optimizare ar putea fi utilizate pentru rularea aplicației. Acest lucru impune menținerea unui echilibru adecvat.

De fapt, în HotSpot JVM există nu unul, ci doi compilatori: C1 și C2. Alte denumiri pentru aceștia sunt client și server. Din punct de vedere istoric, C1 era utilizat pentru aplicațiile GUI, iar C2 pentru cele server. Cei doi compilatori se diferențiază prin modul în care încep să compileze codul. C1 începe să compileze codul mai repede, în timp ce C2 poate genera un cod mai bine optimizat.

Există 5 niveluri de compilare în HotSpot JVM:

Nivelul 0 — cod interpretat. La acest nivel, bytecode-ul Java este executat direct de către JVM fără a fi compilat în cod nativ.

Nivelul 1 — C1 cu optimizare completă (fără profilare). Aici, compilatorul C1 aplică optimizări de bază asupra codului fără a colecta informații suplimentare de profilare.

Nivelul 2 — C1 cu luarea în considerare a numărului de apeluri ale metodelor și iterațiilor buclelor. În acest nivel, C1 optimizează codul bazându-se pe statisticile legate de frecvența apelurilor și a iterațiilor, dar fără a efectua o profilare detaliată.

Nivelul 3 — C1 cu profilare. La acest nivel, compilatorul C1 colectează informații de profilare despre comportamentul aplicației și aplică optimizări suplimentare pe baza acestora.

Nivelul 4 — C2. Acesta este compilatorul server, care efectuează optimizări mai avansate și poate genera un cod nativ mai bine optimizat, utilizând informațiile colectate prin profilare detaliată și analize de performanță [3].

Tabelul 1

Secvențele tipice de tranziție între niveluri JIT

Secvența	Descriere
0-3-4	Interpreter, nivelul 3, nivelul 4. Cel mai frecvent caz.
0-2-3-4	Cazul în care coada nivelului 4 (C2) este supraîncărcată. Codul este compilat rapid la nivelul 2. După finalizarea profilării, acesta va fi compilat la nivelul 3 și, în final, la nivelul 4.
0-2-4	Cazul în care coada nivelului 3 este supraîncărcată. Codul poate fi gata pentru compilare la nivelul 4, dar încă așteaptă în coada nivelului 3. Astfel, este compilat rapid la nivelul 2 și apoi la nivelul 4.
0-3-1	Codul este inițial compilat la nivelul 3 (C1 cu profilare), iar în timpul procesului de profilare devine clar că metoda respectivă este foarte simplă și nu beneficiază de optimizări semnificative la nivelul 4 (C2). De obicei, nivelul 4 (C2) este folosit pentru optimizări avansate, dar în cazul metodelor simple, C2 nu va aduce îmbunătățiri semnificative, deoarece metoda nu este suficient de complexă pentru a justifica utilizarea acestui compilator mai avansat.
0-4	Compilarea multi-nivel dezactivată

Compilarea AOT în Java

Compilarea Ahead-of-Time (AOT) este un proces prin care codul sursă sau bytecode-ul Java este transformat direct în cod mașină nativ înainte de rularea aplicației. Spre deosebire de compilarea JIT (Just-In-Time), care are loc în timpul execuției, AOT generează executabile native în prealabil, reducând astfel timpul de pornire și eliminând nevoia de interpretare sau compilare la runtime.

În ecosistemul Java, AOT a devenit popular prin intermediul unor tehnologii precum GraalVM Native Image [4], care permite dezvoltatorilor să creeze fișiere binare native din aplicațiile Java. Avantajele principale ale compilării AOT includ:

- Timp de pornire mai rapid: Ideal pentru aplicații care necesită inițializare rapidă, cum ar fi microserviciile.
- Consum redus de memorie: Fișierele native ocupă mai puțină memorie, deoarece nu includ JVM complet.
- Compatibilitate cu containerele: Dimensiunea redusă și eficiența executabilelor native le fac potrivite pentru implementări în medii containerizate.

Cu toate acestea, AOT poate avea și limitări, precum reducerea capacității de optimizare dinamică la runtime și o compatibilitate limitată cu anumite caracteristici ale Java (cum ar fi reflexia sau utilizarea intensivă a bibliotecilor dinamice). Astfel, AOT este adesea utilizat complementar compilării JIT, în funcție de cerințele aplicației.

Tehnologiile moderne precum Quarkus și SpringBoot Native valorifică avantajele AOT pentru a oferi soluții eficiente și optimizate pentru ecosistemele bazate pe cloud și microservicii.

Compararea performanței AOT(Quarkus, SpringNative) vs JIT(SpringBoot)

Pentru a înțelege mai bine diferențele dintre o aplicație compilată prin metoda AOT și una compilată prin JIT, au fost dezvoltate două aplicații pentru a demonstra performanțele acestora. Ambele aplicații au același număr de entități. Una dintre aplicații folosește Quarkus, care utilizează compilarea AOT (Ahead-of-Time), iar cealaltă folosește Spring Boot, care se compilează utilizând compilatorul JIT (Just-In-Time).

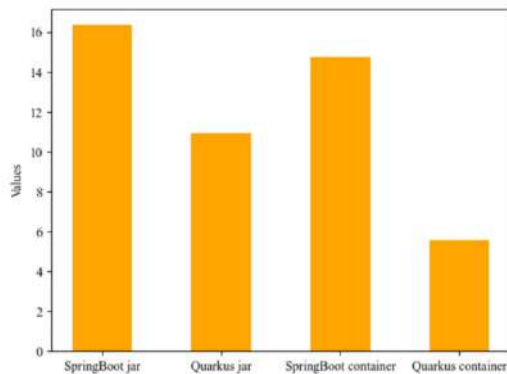


Figura 1. Timpul de pornire a aplicațiilor

În figura 1 sunt prezentate două aplicații, prima dată acestea sunt compilate în jar, iar a doua oară acestea sunt containerizate, cum observăm în ambele cazuri câștigă framework-ul Quarkus care folosește metoda de compilare AOT.

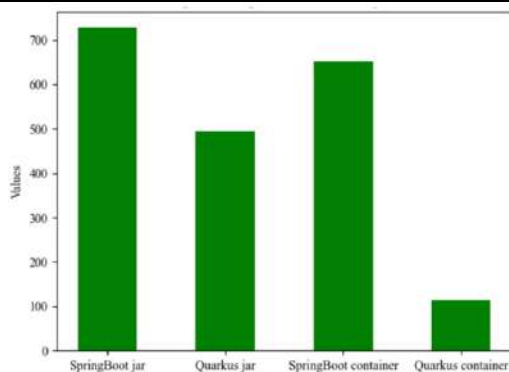


Figura 2. Volumul de memorie RAM utilizat

Cum observăm din figura 2 aplicațiile care folosesc AOT (Quarkus)[5] sunt mai eficiente din punct de vedere al memoriei deoarece întregul cod este deja compilat și optimizat înainte de rulare, iar în timpul execuției nu mai sunt necesare procese suplimentare de compilare sau optimizare. În schimb, aplicațiile care folosesc JIT (SpringBoot)[6] necesită mai multă memorie pentru a susține procesul continuu de compilare și optimizare dinamică a codului în timpul execuției.

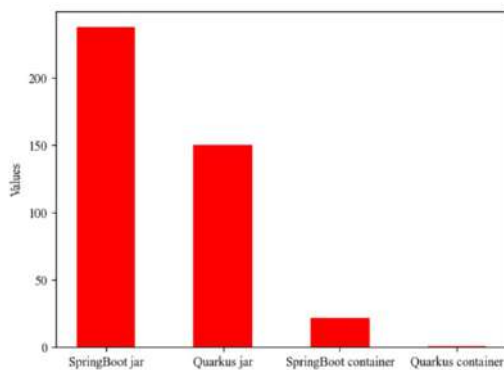


Figura 3. Cantitatea de CPU utilizat

Cum observăm din figura 3 SpringBoot folosește mai mult CPU decât Quarkus, aceasta se întâmplă din cauza că compilarea JIT este dinamică și se întâmplă în timpul execuției aplicației, ceea ce necesită procesare suplimentară. JVM trebuie să facă profilare continuă și optimizare, ceea ce adaugă un overhead de CPU.

Concluzii

Diferențele fundamentale între compilarea AOT (Ahead-of-Time) și JIT (Just-In-Time) sunt esențiale în modul în care fiecare metodă influențează performanța aplicației, în special în ceea ce privește utilizarea memoriei și a resurselor CPU.

AOT oferă o performanță mai bună în ceea ce privește utilizarea memoriei și resurselor CPU pe termen lung, deoarece codul este complet compilat și optimizat înainte de execuție. Acesta nu necesită procese de compilare și optimizare suplimentare în timpul rulării, ceea ce duce la o utilizare mai eficientă a resurselor, fiind ideal pentru aplicațiile mici sau cele care necesită timp de pornire rapid.

JIT, pe de altă parte, permite o optimizare mai dinamică a aplicației în timpul execuției. Aceasta înseamnă că JVM analizează și optimizează codul pe măsură ce aplicația rulează, ceea ce poate duce la o performanță mai bună în cazul aplicațiilor mari și complexe, care beneficiază de ajustări continue ale codului. Totuși, acest proces de compilare dinamică necesită mai multe resurse CPU și poate duce la o latență mai mare la pornire și un consum mai mare de memorie.

Așadar, AOT este preferabil pentru aplicațiile care trebuie să fie ușor de distribuit și să consume resurse minime, în timp ce JIT este mai eficient pentru aplicațiile complexe care se pot adapta dinamic la schimbările de comportament în timpul execuției. Alegerea între AOT și JIT depinde, astfel, de specificul aplicației, de nevoile de performanță și de resursele disponibile.

Referințe

1. Oaks, S. "Java Performance: The Definitive Guide".
2. Bloch, J. "Effective Java".
3. "Java HotSpot JIT" [Online]. Available: <https://habr.com/ru/articles/536288/>
4. "Как работает Graal — JIT-компилятор JVM на Java." [Online]. Available: <https://habr.com/ru/articles/419637/>
5. "Quarkus." [Online]. Available: <https://quarkus.io/>
6. "Spring framework." [Online]. Available: <https://spring.io/projects/spring-framework>

ANALIZA COMPARATIVĂ A MODURILOR DE RANDARE ÎN BLAZOR

Ion CABAC

Departamentul Inginerie Software și Automatică, TI-241M, Facultatea de Calculatoare, Informatică și
Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

Autorul corespondent: Ion Cabac, ion.cabac@isa.utm.md

Rezumat. Această lucrare își propune să analizeze comparativ cele patru moduri de randare disponibile în cadrul framework-ului Blazor: Static Server Rendering (SSR), Interactive Server, Interactive WebAssembly (WASM) și Auto. În contextul creșterii popularității aplicațiilor web interactive dezvoltate cu .NET, este importantă înțelegerea avantajelor și limitărilor fiecărui model de execuție oferit de Blazor, pentru a putea face alegeri tehnice informate în funcție de cerințele specifice ale proiectului. Scopul cercetării constă în evidențierea diferențelor semnificative între modurile de randare, din punct de vedere al arhitecturii fiecărui mod, timpului de inițializare estimativ, interacțiunii cu utilizatorul, gradul de încărcare asupra serverului și cerințele client-side. Concluziile obținute pot fi utile dezvoltatorilor care doresc să adopte Blazor în proiectele lor, oferind repere clare pentru alegerea modului de randare adecvat în funcție de contextul aplicației.

Cuvinte cheie: Blazor, .NET, moduri de randare, aplicații web, interactiv

Introducere

Odată cu lansarea .NET 8, framework-ul **Blazor Web App** a evoluat semnificativ, devenind o soluție completă pentru dezvoltarea de aplicații web moderne, unificate și performante. Blazor permite scrierea codului UI folosind C# în loc de JavaScript, oferind astfel dezvoltatorilor .NET posibilitatea de a crea aplicații full-stack într-un limbaj comun, cu integrare nativă a componentelor, rutării și serviciilor backend.

Una dintre cele mai importante noutăți aduse de **Blazor Web App în .NET 8** este introducerea unei arhitecturi flexibile de moduri de randare, care controlează modul în care componentele Blazor sunt generate și executate — fie pe server, fie în browser. Aceste moduri permit optimizarea performanței, a interactivității și a compatibilității SEO, în funcție de nevoile fiecărei aplicații.

.NET 8 oferă patru moduri principale de randare în Blazor:

- **server side rendering** – componentele sunt randate pe server și livrate ca HTML static;
- **interactive server side rendering** – randare pe server cu activare ulterioară a interactivității;
- **interactive WebAssembly** – aplicația rulează complet în browser folosind WebAssembly;
- **auto render mode** – Blazor decide automat cel mai potrivit mod de randare pentru fiecare componentă.

Această flexibilitate permite dezvoltatorilor să combine avantajele randării pe server cu cele ale execuției pe client, obținând astfel aplicații mai rapide, mai interactive și mai bine adaptate la scenariile reale de utilizare.

În cadrul acestui articol, se propune **analiza comparativă a celor patru moduri de randare** disponibile în Blazor Web App, prezentând avantajele, dezavantajele și cazurile de utilizare potrivite pentru fiecare.

Server-Side Rendering

În modul Static Server Rendering, Blazor Web App generează codul HTML complet al paginii pe server, care este apoi transmis către browser în răspunsul la cererea inițială. După acest pas, nu se mai menține nicio conexiune activă între client și server, iar pagina rămâne statică, fără interactivitate suplimentară, proces ilustrat în figura 1.

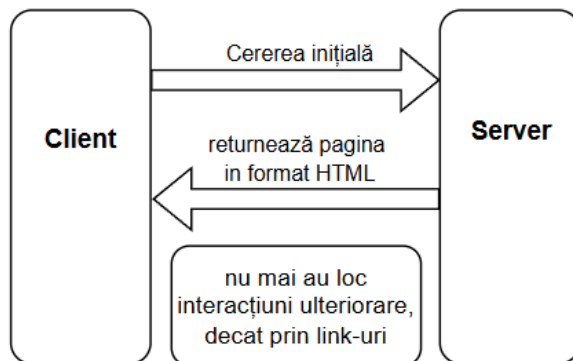


Figura 1. Server-Side Rendering

Acest comportament implică faptul că fiecare cerere HTTP către o pagină determină o nouă redare completă pe server, urmată de trimiterea HTML-ului rezultat către client. Nu sunt necesare descărcări suplimentare de scripturi sau inițializări ale aplicației Blazor pe client, ceea ce conduce la o încărcare inițială foarte rapidă, cu un impact minim asupra resurselor dispozitivului utilizatorului.

Un alt avantaj este compatibilitatea excelentă cu motoarele de căutare (SEO), deoarece întregul conținut este prezent în HTML-ul livrat [1]. Acest mod este ideal pentru pagini informative statice – cum ar fi „About”, „Contact”, „Termeni și condiții” sau pagini de prezentare cu conținut nemodificabil.

Interactive Server Side Rendering

Modul Interactive Server Rendering din Blazor combină randarea pe server cu interactivitatea specifică aplicațiilor dinamice. Inițial, componenta sau pagina este generată ca HTML pe server și livrată clientului similar cu modul static. Ulterior, se stabilește o conexiune persistentă între client și server prin intermediul SignalR, precum în figura 2, un protocol în timp real care permite schimbul bidirecțional de date [2].

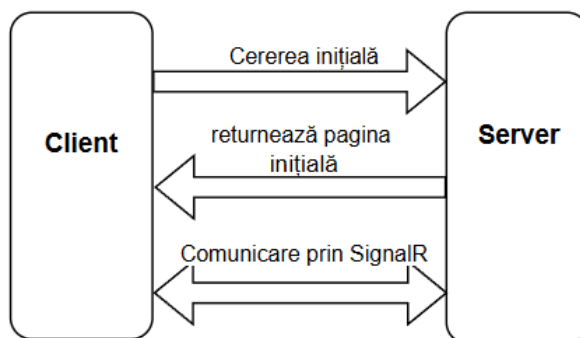


Figura 2. Interactive Server-Side Rendering

Această conexiune este utilizată pentru a gestiona interacțiunile utilizatorului: atunci când un eveniment are loc în browser, acesta este transmis către server, unde logica este procesată și modificările de stare sunt retransmise sub formă de actualizări de UI. Rezultatul este o experiență interactivă, similară unei aplicații single-page, dar cu execuția logicii complet pe server.

Este potrivit pentru aplicații administrative, dashboard-uri sau orice alt scenariu unde datele se schimbă frecvent și pot fi procesate eficient pe server.

Interactive Webassembly

Modul WebAssembly Interactive permite rularea completă a aplicației Blazor direct în browser, fără a menține o conexiune permanentă cu serverul după încărcare. La prima accesare, browserul descarcă runtime-ul .NET în format WebAssembly, împreună cu componentele aplicației și fișierele necesare, precum în figura 3. Odată descărcate, aplicația rulează local, iar interacțiunile și logica se execută exclusiv pe client.

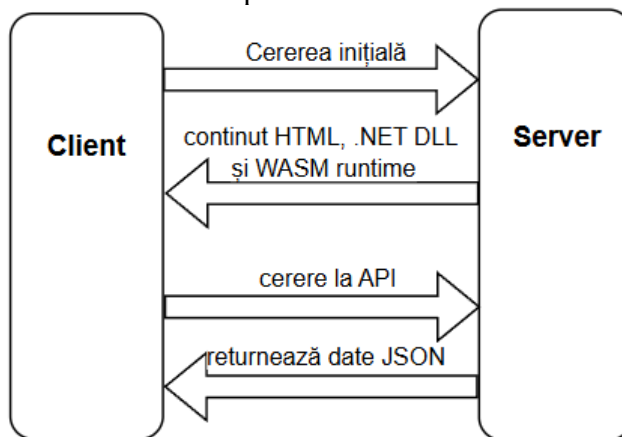


Figura 3. Interactive Webassembly Rendering

Spre deosebire de SSR sau SIR, în WASM nu se mai fac cereri către server pentru redare sau manipulare UI, decât dacă sunt necesare date externe (ex. apeluri API). Randarea are loc 100% în browser, ceea ce permite o experiență rapidă și fluidă după inițializare, dar vine cu un cost inițial mai mare de descărcare și o presiune crescută asupra resurselor clientului [3].

Modul este ideal pentru aplicații cu funcționalitate bogată pe client, care necesită autonomie față de server, cum ar fi aplicații PWA (Progressive Web Apps), aplicații de gestionare locală a datelor sau interfețe pentru utilizatori mobili.

WASM poate fi utilizat atât global pentru întreaga aplicație, cât și per componentă, dacă se dorește delegarea unor funcționalități intensive către browser [4].

Auto Render Mode

Modul Auto Rendering oferă o abordare flexibilă a modului de randare. În loc să fie definit explicit de către dezvoltator, modul de randare este ales automat de Blazor, în funcție de contextul în care componenta este utilizată.

La nivel global, aplicația poate avea un mod de randare prestabilit (ex. SSR), dar la nivel de componentă, Blazor evaluează dacă este necesară interactivitate și selectează automat între SSR, SIR sau WASM, în funcție de cerințele respectivei componente. Această alegere este făcută pe baza utilizării evenimentelor sau a altor elemente interactive.

De exemplu, o componentă care nu conține nicio logică interactivă va fi randată static (SSR), în timp ce una cu evenimente va activa automat interactivitatea, folosind SIR sau WASM, în funcție de configurație și capacități.

Acest mod reduce semnificativ complexitatea dezvoltării, permițând optimizarea automată a performanței și resurselor, fără intervenție manuală [1]. Este ideal pentru aplicații mari, cu multe componente variate, unde menținerea unui singur mod de randare poate deveni dificilă.

Concluzii

Modurile de randare introduse în Blazor Web App odată cu .NET 8 oferă un spectru de opțiuni pentru optimizarea performanței, interactivității și adaptabilității aplicațiilor web. Fiecare dintre cele patru moduri analizate adresează scenarii specifice de utilizare și oferă avantaje proprii.

Tabelul 1

Comparația modurilor de randare în Blazor

Mod de randare	Execuție UI	Conexiune permanentă	Timp inițial de încărcare	Interactivitate	SEO	Cazuri de utilizare
SSR	Server	Nu	Foarte rapid	Nu	Excelent	Pagini statice
SIR	Server	Da (SignalR)	Rapid	Da	Bună	Dashboard-uri, admin apps
WASM	Client	Nu	Lent (inițial)	Da	Limitată	PWA, aplicații offline
Auto	Server / Client	Variabil	Optim variabil	Automat	Variabil	Aplicații complexe

În baza informațiilor din Tab. 1, putem trage următoarele concluzii:
pentru paginile pur informaționale sau statice, SSR este alegerea ideală datorită vitezei de încărcare și suportului excelent SEO;

SIR oferă un compromis eficient între interactivitate și performanță, menținând logica pe server și permițând un control detaliat al fluxului de date prin SignalR, fiind adecvat pentru aplicații care necesită un UI dinamic, dar fără descărcarea completă a aplicației în browser;

WASM Interactive oferă independență totală față de server în ceea ce privește interactivitatea și este preferabil acolo unde aplicația trebuie să funcționeze offline sau complet în browser, în ciuda costului inițial mai mare de descărcare;

auto mode este deosebit de util în aplicațiile mari și variate, oferind o optimizare automată a modului de randare la nivel de componentă, permițând o dezvoltare mai rapidă fără a sacrifica performanța.

În concluzie, alegerea modului de randare în Blazor Web App nu este una universal valabilă, ci trebuie făcută în funcție de contextul aplicației, resursele disponibile și obiectivele de performanță sau SEO. Combinarea acestor moduri într-o aplicație unificată este una din inovațiile valoroase aduse de .NET 8.

Bibliografie

1. Blazor in .NET 8: Full stack Web UI. Chris Sainty - Building with Blazor. <https://chrissainty.com/blazor-in-dotnet-8-full-stack-web-ui/> (accessed 2025-05-13).
2. OLLILA, R.; MÄKITALO, N.; MIKKONEN, T. Modern Web Frameworks: A Comparison of Rendering Performance. Journal of Web Engineering 2022, 21 (3), pp. 789–813. <https://doi.org/10.13052/jwe1540-9589.21311>.
3. GANCHEV, G.; SMOLENOV, H.; TANEVA, E.A.; GISHIN, D.; YORDANOV, V.; YAZADZHIYAN, H. Render Modes of .NET Blazor Technology.
4. GUARDREX. ASP.NET Core Blazor render modes. <https://learn.microsoft.com/en-us/aspnet/core/blazor/components/render-modes?view=aspnetcore-9.0> (accessed 2025-05-14).

MUSiTEX DSL FOR TEXT BASED MUSIC COMPOSITION

**Artiom BOZADJI, Adrian BURDUJA, Andreea GUREV, Nicolae MARGA,
Vasile PASCARI, Artur ȚUGUI**

¹*Department of Software Engineering and Automation, group FAF-231, Faculty of Computers, Informatics, and
Microelectronic, Technical University of Moldova, Chișinău, Republic of Moldova*

Corresponding author: Artur Țugui, artur.tugui@isa.utm.md

Scientific coordinator Irina COJUHARI, conf. univ.,
Department of Automation and Information Technologies

Abstract. *This article presents MuSiTeX, a Domain-Specific Language (DSL) designed to simplify music composition and address the frustrations composers experience with traditional notation software. Aimed at musicians, educators, and developers, the study connects music theory with programming through an accessible text-based approach that enhances both workflow efficiency and creative flexibility. MuSiTeX builds on familiar musical concepts, allowing composers to write music without wrestling with technical MIDI complexities. The implementation includes tools that convert commands into both MIDI files and sheet music, with helpful error guidance for users. The outcomes show this approach significantly reduces time spent on technical tasks, makes composition more accessible to non-programmers, and fosters valuable collaboration between music and computer science field. Further refinement of the language and exploration of its applications in music production and education remain ongoing.*

Keywords: *formal grammar, domain-specific language, MIDI conversion, music composition, parsing*

Introduction

Music creation and distribution have undergone a digital revolution, allowing composers to use technology to simplify their creative processes. One of the major issues faced by composers is the steep learning curve of the available software, because they require familiarity with their interfaces and tools, which can often slow down the composition process.

Discussions in online forums reveal that more time is spent navigating the software rather than focusing on music. A user, in a discussion on Reddit [1], highlights the counter-productiveness and tediousness of composing in the three major music notation software (Finale, MuseScore, and Sibelius) and describes his frustrating experience with poor sound quality, difficulty in rearranging, and the fact that the software takes three to four times longer than writing by hand.

Despite advancements in digital music technology, significant challenges persist, disrupting workflow efficiency even as existing applications aim to streamline the process. While digital tools offer alternatives, they often introduce complexities that can hinder creativity rather than support it. John Peterson and Emery Schubert [2] examined how time is distributed between hand-written music composition and digital notation software, when using notation software, 25% of the time was dedicated to entering notes (either by typing or via a MIDI keyboard), 58% was spent navigating menus and tools to input performance details, and only 11.18% of the time was spent contemplating tasks without actively entering notes or interacting with menus. Composers using notation software seem to have less time for uninterrupted thinking compared to those working with pen and manuscript paper, who spend more than twice as much time in reflective thought. In response to these challenges, there is room for an

investigation on how a simplified, text-based notation system might reduce cognitive load and interface complexity, allowing composers to reclaim their creative time.

Background and motivation

MIDI files are widely used for music notation and production because they contain data about notes, timing, and instrument information, however, they are not directly readable or editable in traditional sheet music formats. From MIDI files, the computer-readable scores can be converted to sheet music for easier sharing, editing, and publishing.

Despite advancements in digital music technology, significant challenges persist, disrupting workflow efficiency even as existing applications aim to streamline the process. Even though the note lengths, pitches, and timing are typically translated correctly, the software cannot fully interpret the composer's intent. MIDI note durations are exactly as played, but in sheet music, they are more often written to fill the available space, and then articulation marks are used to indicate the actual duration.

Similar to durations, sheet music writes all rhythms as if they were played with mechanical precision – but in practice, musicians are not machines, and to make the music come alive, adding “feel” to the rhythm is usually desirable. MIDI pitches map 1:1 to piano keys, but in sheet music, enharmonics matter - B $\flat$ and A $\sharp$ are not the same note, and if ignored, it will lead to music that makes no sense and is very difficult to read. Embellishments and ornaments are not usually spelled out in sheet music - they are either written using special notation, or left to the performer to fill in. But if it's put a long trill in a MIDI file, the conversion software will most likely spell it out as individual notes. The computer can recognize which keys are pressed and translate those into the appropriate sheet music, and it will be technically correct. However, the computer does not comprehend how musicians think about music, and that is what sheet music is about, not a precise mechanical recipe. Therefore, human intervention is necessary to refine the output, ensuring that the notation aligns with musical interpretation rather than just technical accuracy.

Proposed solution

The solution to the challenges faced by music composers when using current music notation software involves creating a Domain-Specific Language (DSL) designed specifically for music composition, that will provide a more intuitive way for composers to compose, edit, and refine music, while addressing the limitations of existing notation software and the need to know all the complex rules of manual notation.

Music composition involves complex notation rules, a Domain-Specific Language (DSL) is an ideal solution to this problem because it is a programming language specifically designed to address the challenges of a particular domain, in this case, music composition. By using a DSL, composers can work in a highly focused environment where the syntax, commands, and structures are specifically design to address the needs of music creation, making the process more intuitive and less time-consuming. Unlike General Purpose Languages (GPLs) such as Python, Java, or C++, which can be used for a wider range of tasks, a DSL is specialized for a particular domain and can be optimized for the needs of music composition.

The proposed DSL, named MuSiTeX, will be a text-based language that simplifies the creation of music by closely resembling traditional music notation, but in a more accessible format. This language will provide a clear, easy-to-use syntax that allows composers to write and modify music with minimal learning overhead. The DSL should have an intuitive, simple syntax that allows almost anyone, even those without programming experience, to compose music efficiently. It should support standard musical notation or MIDI note numbers to represent notes, alongside keywords for note duration, volume, and other musical details.

One of the core requirements of the DSL is the ability to export compositions as standard MIDI files (.mid), these files should be compatible with DAWs (Digital Audio Workstations) and MIDI hardware. Additionally, the DSL should support export to other formats like MusicXML and PDF for sheet music. Error handling is important to ensure that users can identify and correct mistakes in their compositions. The DSL must have clear error messages and warnings when users make syntax mistakes or input mistakes. The system should verify the accuracy of the users' compositions as they work. Additionally, it may include a live preview that offers real-time playback of MIDI along with the sheet music.

At its core, music composition is a series of notes and time intervals, and the DSL should reflect this structure by allowing users to build compositions in a list-like manner. This design should make it easier for musicians to create complex pieces from simpler building blocks. The DSL should utilize various data structures to capture the richness of musical expression, such as lists for representing sequences of notes, chords, or musical phrases; dictionaries for storing note properties (such as pitch, velocity, and timbre), tempo markings, or instrument definitions in a key-value format; nesting, that is allowing hierarchical structures where lists and dictionaries can be nested within each other to create complex musical forms.

The DSL should include advanced tools for modifying compositions: slicing - extracting sections of a composition for repetition, variation, or rearrangement; indexing - accessing individual notes or events within a composition for precise control; modifying note properties such as pitch, duration, and velocity, or adding/deleting notes. This domain-specific approach reduces the learning curve and allows composers to focus on their creative process rather than spending time navigating the software interface.

Implementation

A DSL can be defined by a formal grammar and semantics – a set of rules that establish how to express music in text form, including the syntax for the program structure, statements, expressions and symbols. The grammar determines the syntax and structure of the language, which in turn governs how programs written in this DSL are parsed and understood by the system. The formal grammar used for this DSL was developed with reference to the methodologies and examples presented by Cojuhari I., Duca L., and Fiodorov I. [3]; as well as Duca L., Cojuhari I., Ciorba D., and Cojoharu S. [4]. According to the above mentioned resources, formal grammar is defined as:

$$G = (V_N, V_T, S, P) \quad (1)$$

where V_N is the set of non-terminal symbols, V_T is the set of terminal symbols, S is the start symbol, and P is the set of production rules. What follows is a discussion of some production rules.

The program structure follows this production rule:

$$\langle \text{program} \rangle \rightarrow [\langle \text{title} \rangle] [\langle \text{copyrightnotice} \rangle]' - - -' [\langle \text{statement} \rangle] \quad (2)$$

A statement can be a macro definition, track definition, global setting, set definition, or movement, and is terminated by a newline or semicolon:

$$\langle \text{statement} \rangle \rightarrow (\langle \text{macro definition} \rangle \mid \langle \text{track} \rangle \mid \langle \text{global setting} \rangle \mid \langle \text{set definition} \rangle \mid \langle \text{movement} \rangle) ("\backslash n" \mid ";") \quad (3)$$

Expressions represent values, operations, and macro applications. They include musical notes, macro inlining, macro applications, repetition, settings, and comments. The fundamental values of a program are defined by:

$$\begin{aligned} \langle \text{expr} \rangle \rightarrow ['('] \langle \text{note} \rangle [')'] \mid ['('] \langle \text{note} \rangle [')'] ['('] \mid \langle \text{macro inlining} \rangle \mid \\ \langle \text{macro application} \rangle \mid \langle \text{expression group} \rangle \mid \langle \text{semantic group} \rangle \mid \end{aligned}$$

$$< expr > ' * ' < NUMERIC > | < setting > \quad (4)$$

The syntax for writing a note and specifying its properties includes duration, octave, accidentals, rests, and chords:

$$< note > -> < note literal > [' - ' < int_literal >] [' ^ ' < int_literal >] "b" * "s" * | 'r' [' - ' < int_literal > | < note > [' / ' < note >] \quad (5)$$

where $[' - ' < int_literal >]$ specifies duration, $[' ^ ' < int_literal >]$ specifies octave, $"b" * "s" *$ represents accidentals, $'r' [' - ' < int_literal >]$ defines a rest, and $< note > [' / ' < note >]$ represents notes played simultaneously (chords).

MuSiTeX organizes music through several key structures. A track defines a distinct MIDI track containing one or more statements:

$$< track > -> 'track' [< string_literal >] '{' < statement > < statement > * '}' \quad (6)$$

If a track isn't defined, the global scope is considered the one and only track. A movement defines a set of notes played by an instrument:

$$< movement > -> < instrument > [< string_literal >] ':' < expr > * \quad (7)$$

All movements are considered to be played at the same time within a track. If a movement is named, any subsequent instance of that movement with the same name is considered a continuation of the original movement. Global settings allow users to set defaults for the entire file or track:

$$< global setting > -> tempo ':' < int_literal > | (measure | m) ':' < measure_signature > \quad (8)$$

The language provides several mechanisms for code reuse and abstraction. A macro definition creates a collection of reusable expressions:

$$< macro def. > -> < identifier > [with < capture group >] ' = ' < expr > * \quad (9)$$

Capture groups are used for defining macro arguments and for providing arguments when calling macros:

$$< capture group > -> '(' < arg > + ')' \quad (10)$$

Semantic groups transform a series of tokens into expressions that can be repeated or passed to macros:

$$< semantic group > -> \{ < token > < token > * \} \quad (11)$$

Conclusions

The article aimed to identify, analyze, and propose a solution for the struggles encountered when using current music notation software. Excessive steps required for simple tasks, the steep learning curve of available software, and the complexity of music notations were established as the main issues that the users find challenging. These facts indicated that there is room for a solution that would enhance workflow efficiency without restricting creative freedom.

To develop a feasible solution, standard notation, music concepts, and the challenges of MIDI-to-sheet music conversion were analyzed.

The implementation focused on designing the formal grammar and semantic structure of MuSiTeX. The grammar provides an intuitive framework for representing musical elements in text form, addressing the disconnect between how musicians think about music and how computers interpret it.

References

1. Reddit User. 2025. *I Need to Vent About Music Notation Software*, [Online]. Available: https://www.reddit.com/r/composer/comments/fuwuel/i_need_to_vent_about_music_notation_software_for/.
2. John Peterson and Emery Schubert. 2007. *MUSIC NOTATION SOFTWARE: SOME OBSERVATIONS ON ITS EFFECTS ON COMPOSER CREATIVITY*, [Online]. Available: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?doi=d911db115d6e1c685eade3a6d1a139d94169200b&repid=repl&type=pdf>.
3. COJUHARI, I.; DUCA, L.; FIODOROV, I. *Formal Languages and Finite Automata. Guide for practical Lessons*. Chișinău: Editura Tehnica-UTM, 2022, 120 p. ISBN 978-9975-45-852-8.
4. DUCA, L.; COJUHARI, I.; CIORBA, D.; COJOCARU, S. *Limbaje formale și automate finite. Ghid pentru lecțiile practice*. Chișinău: Editura Tehnica-UTM, 2024, 128 pp. ISBN 978-9975-64-381-8.

ANALIZA PROIECTĂRII ȘI DEZVOLTĂRII ARHITECTURII APLICAȚIILOR

Ștefan GALIȚ, Mihai PARASII*, Nicolae DIMITRAȘ

¹Departamentul Ingineria Software și Automatică, TI-232, Facultatea Calculatoare Informatică și Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

*Autorul corespondent: Mihai PARASII, mihai.parasii@isa.utm.md

Coordonatorul științific Nina SAVA, asistentă universitară

Rezumat. *Lucrarea dată prezintă o cercetare în domeniul proiectării și dezvoltării arhitecturii aplicațiilor software, un domeniu din ce în ce mai important în contextul actual al tehnologiei informației. Odată cu creșterea exponențială a complexității aplicațiilor, apare o necesitate majoră de specialiști capabili să proiecteze arhitecturi scalabile și ușor de întreținut. Acești specialiști sunt cunoscuți sub denumirea de arhitecți software și ei joacă un rol important în succesul pe termen lung al aplicațiilor.*

Lucrarea include o analiză detaliată a relației dintre arhitecții software și dezvoltatorii de aplicații, evidențiind interdependența rolurilor și schimbul de cunoștințe între aceștia. Se investighează, de asemenea, conceptele teoretice și practice care definesc aceste domenii și tipurile de probleme pe care fiecare categorie de specialist le abordează. O altă componentă importantă a cercetării este analiza instrumentelor de modelare utilizate în proiectarea software, cum ar fi limbajul de modelare UML, însoțită de exemple concrete de aplicații realizate cu ajutorul acestor instrumente. Lucrarea subliniază importanța unei arhitecturi bine definite în succesul dezvoltării software.

Cuvinte cheie: aplicație, dezvoltare, modelare, programare, proiectare, uml.

Introducere

Proiectarea arhitecturii software este o etapă importantă în dezvoltarea aplicațiilor, deoarece definește structura și modul de funcționare al componentelor unui sistem. O arhitectură bine gândită asigură scalabilitate, mentenabilitate și performanță. Arhitectul software are un rol important, fiind responsabil de alegerea tehnologiilor potrivite și organizarea logică a aplicației. El colaborează cu dezvoltatorii, oferindu-le direcții tehnice clare și soluții la problemele de implementare. Această colaborare eficientă ajută la evitarea blocajelor și menține proiectul aliniat la obiectivele tehnice și de business.

1. Originea conceptului de arhitectură software.

Proiectarea software și arhitectura civilă a fost făcută pentru prima dată la sfârșitul anilor 1960. [1] Însă termenul „arhitectură software” a început să fie folosit pe scară largă abia în anii 1990. [2] Încă de la începuturile informaticii, dezvoltatorii s-au confruntat cu probleme legate de complexitate. Acestea erau abordate prin alegerea structurilor de date potrivite, dezvoltarea de algoritmi și aplicarea principiului separării responsabilităților. Deși termenul „arhitectură software” este relativ recent în industrie, principiile de bază ale acestui domeniu au fost aplicate ocazional de inginerii software începând cu mijlocul anilor '80. Primele încercări de a descrie arhitectura unui sistem software erau neclare și lipsite de structură, fiind adesea reprezentate prin simple diagrame cu căsuțe și linii. [3]

2. Structura unei arhitecturi software.

Arhitectura software este un ansamblu de structuri necesare pentru a proiecta un sistem software. Fiecare structură cuprinde elemente software, relațiile dintre ele și proprietățile ale elementelor cât și ale relațiilor. Arhitectura software presupune luarea unor decizii structurale fundamentale, care devin costisitor de schimbat odată ce au fost implementate. Aceste decizii implică alegerea unor opțiuni structurale specifice dintre multiple variante posibile în procesul de proiectare a sistemului software. [4,5] Structura macroscopică a sistemului se referă la arhitectura ca o abstractizare de nivel a unui sistem software, compusă dintr-un set de componente computaționale și conectori care definesc interacțiunile dintre acestea. Arhitectura nu este doar un set de diagrame sau modele, ci include și deciziile care au dus la acele structuri și raționamentul din spatele acestora. Această perspectivă a condus la cercetări extinse în domeniul managementului cunoștințelor arhitecturale.

Caracteristicile arhitecturii software

1. **Multitudine de părți interesate:** Sistemele software trebuie să răspundă unei varietăți de părți interesate, cum ar fi manageri de afaceri, proprietari, utilizatori și operatori. Toate aceste părți interesate au propriile preocupări cu privire la sistem. Echilibrarea acestor preocupări și demonstrarea faptului că acestea sunt abordate face parte din proiectarea sistemului. [6] Aceasta implică faptul că arhitectura implică gestionarea unei game largi de preocupări și părți interesate și are o natură multidisciplinară.
2. **Separarea preocupărilor:** Metoda consacrată prin care arhitecții reduc complexitatea este separarea preocupărilor care stau la baza proiectării. Documentația arhitecturală arată că toate preocupările părților interesate sunt abordate prin modelarea și descrierea arhitecturii din puncte de vedere separate, asociate cu diversele preocupări ale părților interesate. [7] Aceste descrieri separate se numesc vederi arhitecturale.
3. **Orientare spre calitate:** Abordările clasice de proiectare software au fost determinate de funcționalitatea necesară și de fluxul de date prin sistem, dar perspectiva actuală este că arhitectura unui sistem software este mai strâns legată de atributele sale de calitate, cum ar fi toleranța erorilor, compatibilitatea inversă, extensibilitatea, fiabilitatea, mentenabilitatea, disponibilitatea, securitatea, utilizabilitatea și alte astfel de atribute. Preocupările părților interesate se traduc adesea în cerințe privind aceste atribute de calitate, care sunt denumite în mod divers cerințe nefuncționale, cerințe extrafuncționale, cerințe comportamentale sau cerințe privind atributele de calitate.
4. **Integritate conceptuală:** Fred Brooks în cartea sa „The Mythical Man-Month”, a introdus un termen numit „Integritatea conceptuală” ce prevede ideea că arhitectura unui sistem software reprezintă o viziune concretă asupra a ceea ce ar trebui să realizeze sistemul și a modului în care acest lucru ar trebui implementat. [8]
5. **Constrângeri cognitive:** O observație făcută pentru prima dată într-o lucrare din 1967 programatorul Melvin Conway, conform căreia organizațiile care proiectează sisteme sunt constrânse să producă modele care sunt copii ale structurilor de comunicare ale acestor organizații. [9]

3, Importanța arhitectului software în proiectarea unei arhitecturi software.

Un arhitect software este un inginer specializat care se ocupă de deciziile de design esențiale ce definesc structura și modul de funcționare al întregului sistem.

Este responsabilitatea arhitectului software să potrivească caracteristicile arhitecturale cunoscute și ca cerințe nefuncționale cu cerințele de business. De exemplu: [5]

- Pentru a avea clienți mulțumiți, sistemul trebuie să fie mereu disponibil, sigur, rezistent la erori, ușor de testat și reparat, flexibil și performant.
- Pentru a susține fuziuni și achiziții, arhitectura sistemului trebuie să permită extinderea, adaptarea la schimbări, funcționarea la scară largă și integrarea ușoară cu alte sisteme.
- Când bugetul și timpul sunt limitate, soluția trebuie să fie simplă și realistă, ușor de pus în practică.

4. Creșterea cerinței de arhitecți software în industria IT.

Graficul din figura 1 reprezintă o evoluție impresionantă a cerinței de specialiști în arhitectură software în perioada 1990–2025. Datele arată o creștere treptată în primele două decenii, urmată de o explozie semnificativă începând din 2010 și atingând un vârf spectaculos în 2025.

În perioada 1990–2005, cererea a crescut lent, reflectând primele zile ale industriei IT, când rolurile tehnice nu erau încă foarte specializate. Cu toate acestea, odată cu progresul tehnologiilor și dezvoltarea unor proiecte software din ce în ce mai complexe, cererea de arhitecți software a început să crească considerabil începând cu 2010.

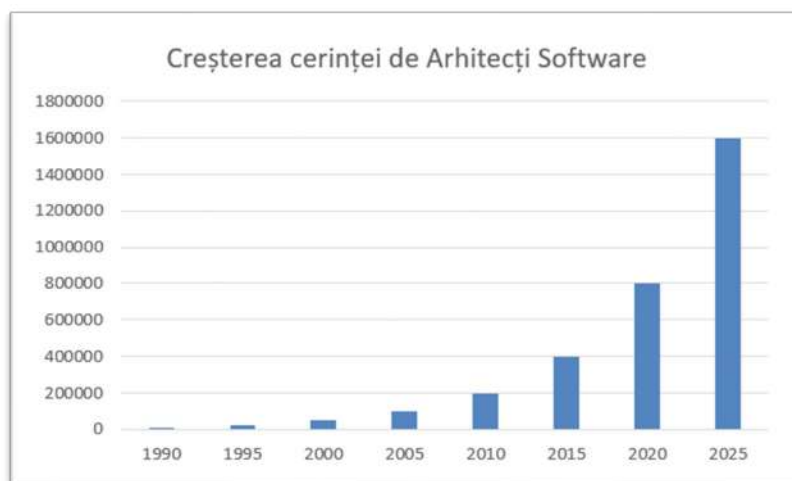


Figura 1. Creșterea cerinței de Arhitecți Software

După 2015, creșterea devine accelerată, ducând la o cerere estimată de peste 1.600.000 de arhitecți software în 2025. Un factor major care contribuie la această evoluție este apariția și dezvoltarea accelerată a inteligenței artificiale. Implementarea AI în tot mai multe domenii de la automatizare industrială la soluții de afaceri, sănătate sau securitate a generat nevoia de arhitecturi software mult mai avansate, sigure și scalabile. Astfel, companiile caută arhitecți capabili să proiecteze soluții complexe care să integreze eficient algoritmi de inteligență artificială.

5. Colaborarea dintre arhitect software și inginer software.

Colaborarea dintre arhitectul software și inginerul software este importantă pentru succesul oricărui proiect software la scară largă. Deși au responsabilități diferite, rolurile lor sunt profund interdependente și contribuie împreună la furnizarea unui produs performant, scalabil și care poate fi întreținut.

Arhitectul software este responsabil de definirea viziunii arhitecturale, alegerea celor mai potrivite tehnologii și modele, precum și de luarea deciziilor tehnice critice care vor influența întreaga structură a aplicației. Pe de altă parte, inginerul software implementează de fapt componentele, traduce designul în cod de lucru și este direct implicat în testarea și identificarea problemelor.

O bună colaborare între cei doi necesită comunicare constantă, înțelegere clară a cerințelor și adaptare reciprocă. Arhitectul trebuie să se asigure că soluțiile propuse sunt realiste și ușor de implementat, iar inginerul trebuie să ofere feedback continuu asupra posibilelor limitări sau îmbunătățiri. Acest schimb bidirecțional contribuie la o arhitectură solidă, dar și la implementare eficientă.

Tabelul 1

Rolurile principale ale unui Software Architect și cel al unui Software Developer

Software Architect	Software Inginer
Definește viziunea arhitecturală	Implementează componentele
Alege pattern-uri și tehnologii	Scrie codul efectiv
Ghidează deciziile tehnice	Urmează design-ul propus
Analizează compromisuri arhitecturale	Semnaleză probleme sau limitări
Revizuieste arhitectura pe termen lung	Optimizează codul local

Instrumentele utilizate de arhitecții software pentru proiectarea arhitecturii.

Instrumentele de modelare software au un rol important în procesul de proiectare și documentare a sistemelor informatice, permițând reprezentarea vizuală a componentelor, relațiilor și fluxurilor de date dintr-o aplicație. Acestea ajută la înțelegerea și comunicarea arhitecturii sistemului, fiind indispensabile în fazele de analiză și proiectare ale ciclului de viață software.

În acest context, Sparx Enterprise Architect și StarUML se numără printre cele mai utilizate unelte de modelare de către arhitecții software. Ele oferă suport pentru crearea diagramelor UML și pentru structurarea clară a sistemelor complexe. Prin utilizarea acestor instrumente, arhitecții pot documenta deciziile tehnice, pot defini componentele esențiale ale aplicației și pot asigura coerența și scalabilitatea soluției finale.

Tabel 2

Analiza comparativă a instrumentelor

Criterii de comparare	Sparx Enterprise Architect	StarUML
Tip licență	Comercial (cu licențe cu actualizări)	Freemium (versiune plătită ~\$129/licență)
Platformă suportată	Windows (nativ); Linux/macOS prin emulare	Windows, macOS, Linux
Suport UML (versiune)	UML 2.x complet	UML 2.x (majoritatea diagramelor uzuale)
Alte limbaje suportate	BPMN, SysML, ArchiMate, DMN, SoaML, ERD etc.	ERD, JSON Schema, Swagger (prin extensii)
Generare de cod	Susține (C#, Java, C++, PHP, etc.)	Susține (C#, Java, C++, Python, etc.)
Inginerie inversă	Susține reverse engineering cod către modele UML	Limitat (doar pentru anumite limbaje)
Suport MDA (Model Driven Architecture)	Susține – complet, cu transformări model-to-model și model-to-code	Nu susține
Integrare cu alte unelte	Da (Jira, DOORS, SVN, Git, MS Office, etc.)	Parțial (via extensii, Git, VS Code etc.)
Curba de învățare	Medie-Ridică (complexitate enterprise)	Ușoară-Medie (interfață modernă, simplă)
Documentație automată	Da (generare RTF, HTML, PDF, DOCX etc.)	Limitat (doar HTML și Markdown extensibil)
Public țintă	Enterprise, guvern, MBSE, IT complex	Freelanceri, educație, startup-uri

Concluzii

Un sistem digital performant, flexibil și ușor de extins are la bază o arhitectură software bine definită. Modul în care punem bazele proiectului încă de la început o să dicteze direct cât de bine va funcționa, cât de ușor se adaptează, cât de sigură e și cât de simplu poate fi întreținută aplicația.

De aceea, rolul arhitectului software devine indispensabil. Nu doar că știe să definească structura sistemului și cum vor interacționa între ele toate componentele, dar și anticipează potențialele probleme în producție, gestionează incertitudinile și se asigură că soluțiile tehnice sunt perfect aliniate cu obiectivele de afaceri.

Planificând în detaliu și lucrând în etape, arhitectul software garantează că sistemul va evolua armonios, se va adapta fără probleme la schimbări și va integra eficient orice cerință nouă. Prin urmare, o arhitectură software bine gândită și expertiza solidă a unui arhitect competent nu sunt doar un avantaj, ci o condiție obligatorie pentru succesul oricărui proiect software complex.

Referințe:

1. NAUR, P.; RANDALL, B. editori. *Software Engineering: Report of a conference sponsored by the NATO Science Committee, Garmisch, Germany, 7–11 Oct. 1968*. Brussels: NATO, Scientific Affairs Division, 1969. Accesibil la: https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/pdf_2016_02/20160216_1602-NATO_Software_Engineering_Conference_1968.pdf.
2. KRUCHTEN, P.; Obbink, H.; Stafford, J. “The Past, Present, and Future for Software Architecture.” *IEEE Software*, vol. 23, nr. 2, pp. 22–30, mart. 2006, doi: 10.1109/MS.2006.59.
3. “Introduction to the Special Issue on Software Architecture.” *IEEE.org*, 2006, doi: 10.1109/TSE.1995.10003.
4. GANDHI, R. et al. *SOFTWARE ARCHITECTURE: A Learner’s Guide to Architectural Thinking*. O’Reilly Media, Inc, 2024.
5. MARK, R.; FORD, N. *Fundamentals of Software Architecture: An Engineering Approach*. First edition, O’Reilly Media, Inc, 2020.
6. LEN, B. et al. *Software Architecture in Practice*. Pearson Education, 2013.
7. ISO/IEC/IEEE. *ISO/IEC/IEEE 42010:2011 Systems and software engineering – Architecture description*. 2011. Accesibil la: <https://www.iso.org/standard/50508.html>
8. BROOKS, F.P. *The Mythical Man-Month: Essays on Software Engineering*. Repr, Addison-Wesley, 1991.
9. *Conway’s Law*. 29 Sept. 2019, https://web.archive.org/web/20190929004831/http://www.melconway.com/Home/Conways_Law.html.

ANALIZA UTILIZĂRII CRIPTOGRAFIEI ÎN BLOCKCHAIN

Mihai PARASII

Departamentul Ingineria Software și Automatică, TI-232, Facultatea Calculatoare Informatică și Microelectronică,
Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

Coordonatorul științific Arina ALEXEI, conf. univ. dr.

Rezumat. *Lucrarea de față prezintă o cercetare în domeniul securității tehnologiilor informaționale, dar mai detaliat o cercetare științifică în subdomeniile unde sunt utilizați algoritmi criptografici. S-a efectuat analiza pentru a determina diferențele, a compara și a evalua nivelul relativ de securitate pentru fiecare algoritm analizat, cum ar fi SHA-256, SHA-3, RSA, ECDSA și alți algoritmi care au tangență cu domeniul de Blockchain și semnătură digitală. O altă analiză prezentă este cercetarea utilizării funcțiilor de hashing și a diferitelor tehnologii și tehnici utilizate în domeniile de criptomonede și Blockchain, mai ales în importanța lor la protejarea tranzacțiilor utilizatorilor și a informației sensibile de către hackeri. Prin protejare se înțelege validarea tranzacțiilor și afirmarea integrității și imutabilității lor. Partea dată de cercetare, pe lângă cele enumerate mai sus, conține și un modul care cuprinde definirea conceptului de Blockchain, explicarea componentelor din care este compus și descrierea comportamentului său, care permite reflectarea abstractă a ideilor date asupra altor domenii.*

Cuvinte cheie: *blockchain, criptografie, criptomonede, hash, tranzacții.*

Introducere

În perioada de timp curentă, datele prezintă o importanță majoră, dar valoare mai mare ca datele o posedă siguranța lor. Termenul siguranță se referă nu doar la stocarea datelor într-un loc sigur, la care hackerii nu vor avea acces, dar se referă și la proprietatea datelor de a fi imutabile. Acest comportament specific este realizat cu ajutorul conceptului de criptografie.

Definirea termenului de criptografie și a tipurilor ei

Criptografia reprezintă o ramură a matematicii care se ocupă cu securizarea informației [1]. În criptografie, un mesaj citibil de către om, numit text clar, este transformat cu ajutorul unui algoritm într-un text cifrat. Rezultatul este format din simboluri aparent aleatorii, care sunt greu de perceput [2]. Criptarea se poate diviza în 3 mari grupuri: criptare simetrică, criptarea asimetrică și hashingul.

Criptarea simetrică

Criptarea cu cheie simetrică este primul tip de criptare care a apărut în lume și reprezintă cifrarea datelor inițiale cu ajutorul unei chei secrete. Tot cu ajutorul aceleiași chei va avea loc și procesul de transformare a datelor cifrate înapoi în structura lor inițială. În Fig. 1 este reprezentat procesul de funcționare a criptării simetrice.

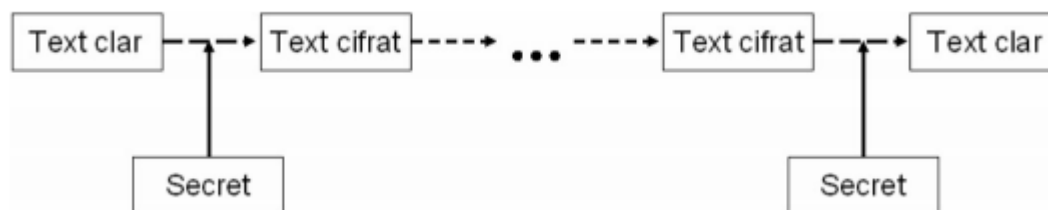


Figura 1. Criptarea simetrică

Acest tip de criptare poate fi realizat cu ajutorul a mai multor algoritmi. Unii dintre ei sunt: DES, 3DES, AES și RC4 [3]. În Tab. 1 este prezentată o comparare detaliată a acestor 4 algoritmi, care include mai multe aspecte de comparație.

Tabelul 1

Compararea algoritmilor de criptare simetrică

Caracteristica	DES	3DES	AES	RC4
Lungimea cheii de criptare	56 biți	56 biți	128, 192 sau 256 biți	40 – 2048 biți
Siguranța	Nu este sigur. A fost spart	Nu este sigur. A fost spart	Este sigur. Încă nu a fost spart	Nu este sigur. A fost spart
Paralelizare	Limitată	Limitată	Foarte bună	Nu este paralelizabil
Consum de resurse	Scăzut	Ridicat	Scăzut-mediu	Foarte scăzut
Timp de criptare	Rapid pe hardware dedicat	De 3 ori mai mult ca DES	Foarte rapid pe software modern	Foarte rapid

Criptarea asimetrică

Criptografia asimetrică, numită și criptografie cu chei publice, reprezintă o ramură a criptografiei moderne, utilizată pe scară largă în comunicațiile sigure, schimbul de informații confidențiale și semnăturile digitale. Spre deosebire de criptografia simetrică, aceasta utilizează o pereche de chei: o cheie publică și o cheie privată [4]. Un utilizator care deține o astfel de pereche își publică cheia publică astfel încât oricine poate să o folosească pentru a-i transmite un mesaj criptat. Numai deținătorul cheii secrete (private) este cel care poate decripta mesajul astfel criptat. Matematic, cele două chei sunt legate, însă cheia privată nu poate fi obținută din cheia publică. O analogie intuitivă pentru perceperea acestui proces este compararea cu o cutie poștală, unde oricine poate pune în cutia poștală a cuiva un plic, dar la plic nu are acces decât posesorul cheii de la cutia poștală. Un exemplu este reprezentat în Fig. 2.

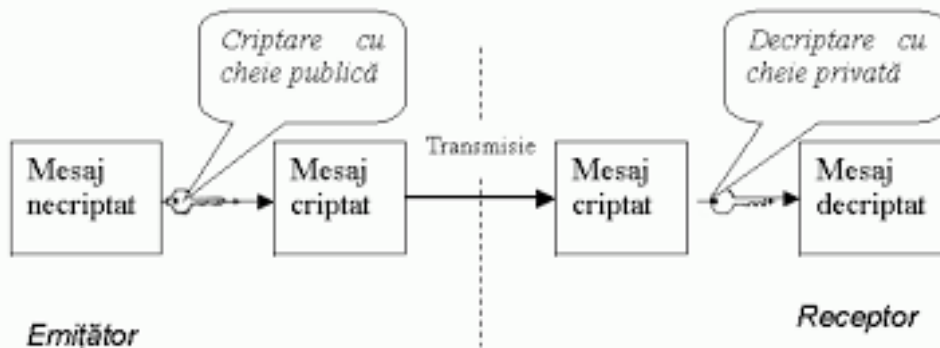


Figura 2. Criptarea asimetrică cu cheie publică

Ca și criptarea simetrică, criptarea asimetrică include diferiți algoritmi. Cei mai utilizați dintre ei sunt: RSA, DSA și Diffie-Hellman(DH). În Tab. 2 este prezentată o comparare detaliată a acestor algoritmi, care include mai multe criterii de comparare.

Tabelul 2

Compararea algoritmilor de criptare asimetrică

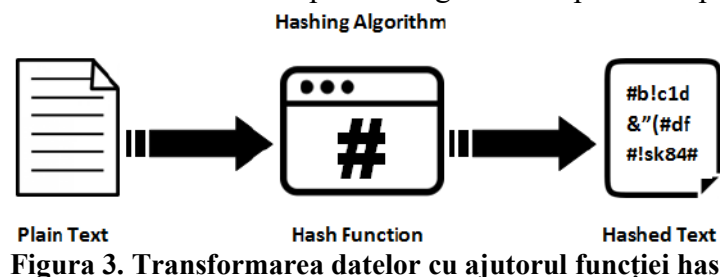
Caracteristica	RSA	DSA	DH
Tip algoritm	Criptare și semnături digitale	Semnături digitale	Schimb de chei
Bază matematică	Factoringul numerelor mari	Logaritmul discret	Logaritmul discret
Timp de generare a cheilor	Mai lent decât DSA	Mai rapid ca RSA	Echivalent cu DSA
Securitate	Siguranță asigurată doar dacă lungimea cheii este mai mare de 3072 biți	Considerată sigură cu lungimea cheii de 2048+ biți	Considerat sigur, dar se preferă ECDH

Compararea tipurilor de criptare

Tipurile de criptare analizate mai sus au fiecare avantajele și dezavantajele lor, care sunt prezentate mai jos. Primul avantaj al criptării simetrice este însăși viteza și eficiența ei. Deoarece criptarea simetrică necesită mai puține etape de calcul, aceasta este mai rapidă și mai eficientă decât criptarea asimetrică, ceea ce o face ideală pentru un volum mare de date. În corelație cu acest avantaj, este și beneficiul că ea are un cost de calcul redus, din motivul că folosește o singură cheie și mai puține etape de procesare. Al treilea privilegiu este că ea oferă o protecție puternică a datelor în masă. Dar acest avantaj este atins doar dacă sunt utilizați algoritmi puternici, cu mărimea cheii destul de mare. Aceste beneficii o popularizează în domeniile în care este nevoie de o viteză de criptare relativ mare. Dar ea are și dezavantaje. Unul dintre ele este problema distribuției cheilor. Prin acest neajuns se înțelege că ambele părți, pentru a putea cripta și decripta mesajele, trebuie să posede aceeași cheie de criptare. Din asta rezultă că cheia dată poate fi dificil de partajat în rețelele deschise, și dacă ea este interceptată, datele pot fi furate sau prelucrate de a treia persoană. Un alt dezavantaj este proprietatea ei de a se scala. Pe măsură ce numărul utilizatorilor crește, gestionarea cheilor devine dificilă, iar fiecare pereche de utilizatori are nevoie de o cheie unică, care poate fi greu de gestionat în organizațiile mari. Criptarea asimetrică soluționează dezavantajele criptării simetrice. Primul avantaj este însăși scalabilitatea ei. O singură cheie publică poate fi partajată cu mai mulți utilizatori, făcând criptarea asimetrică mai scalabilă în rețele mari. Al doilea beneficiu este partajarea simplificată a cheilor, ceea ce înseamnă că o cheie poate fi partajată cu mai mulți utilizatori. Un alt avantaj destul de important a criptării asimetrice este că ea permite semnăturile digitale. Dar pe de altă parte se află un dezavantaj foarte important, care este generat de complexitatea ei. Implementarea criptării asimetrice poate fi mai complicată, în special în ceea ce privește gestionarea sigură a cheilor private. Pe lângă asta se mai află și faptul că criptarea asimetrică este mai lentă și necesită mai multă putere de calcul decât criptarea simetrică [5-7].

Hashing

Hashing-ul este o funcție matematică într-o singură direcție, care transformă datele de intrare de orice lungime și orice tip într-un șir de caractere binare non-descriptiv și non-informativ cu o lungime fixată și care posedă proprietatea că el nu poate fi transformat înapoi în datele inițiale [8]. În contextul securității cibernetice, hashingul este o metodă de a menține în siguranță datele sensibil, cum ar fi parolele, mesajele și documentele securizate. Odată ce conținutul a fost convertit cu ajutorul unui algoritm de hash, rezultatul este necitibil pentru oameni și este extrem de dificil de a fi decriptat. În Fig. 3 este reprezentat procesul de hashing.



În Tab. 3 este reprezentată compararea a mai multor algoritmi de hashing.

Tabelul 3

Compararea algoritmilor de hash

Caracteristica	MD-5	SHA-1	SHA-256	SHA-384
Lungimea hash(biți)	128	160	256	384
Nivelul de securitate	Spart	Spart	Sigur	Sigur
Viteza de calcul	Foarte rapid	Rapid	Mediu	Mai lent
Rezistență la coliziuni	Slabă	Slabă	Foarte bună	Foarte bună

Blockchain

Blockchain este o bază de date decentralizată și transparentă care permite stocarea și transmiterea informațiilor și se bazează pe principiul distribuirii și securității. Ca structură de date, un blockchain este o listă simplu înălțuită, în care fiecare bloc reprezintă înregistrări (sau date) și conține hash-ul blocului precedent, însăși informația tranzacției și hash-ul blocului curent. Când blocul este umplut cu informație, el este închis și legat de blocul precedent. Prin design, blockchain-urile sunt rezistente la modificarea datelor, deoarece la modificarea unui bloc anterior, va fi modificat tot lanțul de blocuri ce îl urmează și respectiv lanțul va fi invalid. Lanțul este invalid dacă hash-ul ultimului bloc din acest lanț este diferit de valoarea cea mai frecventă a hash-ului ultimului bloc din toate sistemele conectate la acest blockchain. Pentru a fi folosit ca registru distribuit, un blockchain este de obicei administrat de o rețea colectivă de tip peer-to-peer, ce apelează la un protocol pentru validarea noilor blocuri.

Un protocol de validare a noilor blocuri sau un algoritm de consens este un mecanism care le permite mașinilor să se coordoneze într-un cadru distribuit. Trebuie să se asigure că toți agenții din sistem pot conveni asupra unei singure surse de adevăr, chiar dacă unii agenți eșuează. Din toți algoritmii de consens, Proof of Work este cel mai important. În PoW, validatorii (numiți *mineri*) aplică procesul de hashing pentru datele pe care doresc să le adauge până când produc o soluție specifică. În PoW, protocolul stabilește condiții pentru ceea ce face ca un bloc să fie valid. Acesta poate spune, de exemplu, că *"numai un bloc al cărui hash începe cu 00 va fi valid"*. Singura modalitate prin care minerul poate crea unul care se potrivește cu acea combinație este cu ajutorul forței brute. Acesta poate modifica un parametru în datele sale pentru a produce un rezultat diferit pentru fiecare presupunere, până când obține hash-ul potrivit. După ce hash-ul s-a potrivit, minerul este remunerat.

Proof of Stake este o clasă de mecanisme de consens pentru blockchain-uri care funcționează prin selectarea validatorilor proporțional cu cantitatea lor de dețineri în criptomoneda asociată [9]. Acest lucru se face pentru a evita costul de calcul al schemelor de dovezi de lucru. În blockchain-ul PoS, entitățile anexate sunt denumite *"minters"* sau validatori. În majoritatea protocoalelor, validatorii primesc o recompensă pentru acest lucru. Pentru ca blockchain-ul să rămână sigur, trebuie să aibă un mecanism care să împiedice un utilizator sau un grup rău intenționat să preia majoritatea validării. PoS realizează acest lucru solicitând validatorilor să aibă o anumită cantitate de jetoane blockchain, iar potențialii atacatori trebuie să achiziționeze o mare parte din jetoanele de pe blockchain pentru a lansa un atac.

Primul blockchain a fost înființat în anul 2008 de o persoană anonimă care s-a identificat cu numele de Satoshi Nakamoto. În 2009 a fost pus în aplicare în criptomoneda Bitcoin, unde ea servește ca registru public și descentralizat pentru toate tranzacțiile. Blockchain este tehnologia care stă la baza Bitcoin și face posibilă existența și funcționarea acestuia.

Datorită caracteristicilor conceptului de blockchain, el poate fi utilizat pentru în domenii ce necesită integritatea și imutabilitatea datelor. Unele utilizări pot fi în domeniul identității digitale, ceea ce va permite utilizatorilor să dețină și să controleze propriile date personale pe un sistem securizat. O altă utilizare este implementarea în ideea de contracte inteligente, care se auto-execută atunci când sunt îndeplinite condițiile din ambele părți. Ele elimină nevoia de intermediari. O altă regăsire este în dosarele medicale, unde pacienții pot avea control complet asupra istoricului medical, partajându-l în siguranță cu medicii. Blockchain-ul se mai poate regăsi și în sistemul de vot electronic, cum ar fi cel implementat în Virginia de Vest, SUA. Această abordare permite ca voturile cetățenilor să nu fie modificate și/sau falsificate [10].

Concluzii:

Sumând toate cele redate anterior, este posibil de spus că conceptul de Blockchain și, însăși, criptografia este utilizabilă în diferite domenii, prin aceea că permite securizarea datelor și păstrarea informației în siguranță. Iar acest fenomen este actual în perioada dată de timp, unde pe

fonul creșterii importanței datelor, cresc și cerințele de a demonstra validitatea, transparența și actualitatea lor.

Bibliografie:

1. "Criptografie." *Wikipedia*, [Online] <https://ro.wikipedia.org/w/index.php?title=Criptografie&oldid=16826223>.
2. CARATA, D. *Ce Este Criptografia? Cum Algoritmii Păstrează Informațiile Secrete Și Sigure*, [Online] <https://www.mentenanta.it/blog/academia-it/ce-este-criptografia-cum-algoritmii-pastreaza-informatiile-secrete-si-sigure/>.
3. "Advanced Encryption Standard." *Wikipedia*, [Online] https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Advanced_Encryption_Standard&oldid=1292492022
4. "Criptografie asimetrică." *Wikipedia*, [Online] https://ro.wikipedia.org/w/index.php?title=Criptografie_asimetric%C4%83&oldid=16881171
5. ALEXEI, A. Suport de curs "Fundamente ale securității cibernetice". Editura UTM, Chișinău, 2024. ISBN 978-9975-64-464-8.
6. ALEXEI, A. Indicații metodice la lucrări de laborator "Tehnologii ale securității informaționale". Editura UTM, Chișinău, 2024. ISBN 978-9975-64-448-8.
7. ALEXEI, Ar.; ALEXEI, An. The difference between cyber security vs information security. În: *Journal of Engineering Science*, Volumul XXIX, no. 4 (2022), pp. 72 – 83.
8. "What Is Hashing in Cybersecurity? | CrowdStrike." *CrowdStrike.Com*, [Online] <https://www.crowdstrike.com/en-us/cybersecurity-101/data-protection/data-hashing>
9. What Does Proof-of-Stake (PoS) Mean in Crypto?" *Investopedia*, [Online] <https://www.investopedia.com/terms/p/proof-stake-pos.asp>.
10. "Blockchain Facts: What Is It, How It Works, and How It Can Be Used." *Investopedia*, [Online] <https://www.investopedia.com/terms/b/blockchain.asp>.

IMPACT OF DESIGN PATTERNS ON MAINTAINABILITY IN COMPLEX SOFTWARE SYSTEMS

Daniela AFTENI*

*Department of Software and Automation Engineering, group IS-241M, Faculty of Computers, Informatics and
Microelectronics, Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova*

*Corresponding author: Daniela Afteni, daniela.afteni@isa.utm.md

Scientific supervisor/coordinator Andrei POȘTARU, univ. lecturer

Abstract. *This study explores the application of design patterns to improve the maintainability of software systems. Specifically, it examines various Creational, Structural and Behavioral design patterns, such as Abstract Factory, Builder, Factory Method, Adapter, Command and others, within a real-world software project. The research aims to assess the impact of these patterns on reducing complexity, enhancing code reuse and improving system flexibility. The methods include a comparative analysis of codebases with and without the application of design patterns, followed by an evaluation using SonarQube to measure maintainability metrics like code smells, technical debt ratio, ratio debt. The findings indicate that the use of design patterns significantly reduces code complexity, promotes better organization and improves system scalability, making it easier to maintain and extend. The study emphasizes the importance of incorporating design patterns in software development to achieve more maintainable, flexible and scalable systems. This research provides insights into how design patterns can be systematically applied to address common software development challenges, offering valuable statistics for developers.*

Keywords: *design patterns, maintainability, SonarQube, code smells, technical debt ratio*

Introduction

The increasing complexity of modern software systems necessitates effective strategies for managing their development, maintenance and scalability. One effective strategy is the use of design patterns [1], which offer proven solutions to common problems in software design [1]. Design patterns provide developers with reusable and flexible approaches, improving software maintainability and scalability by addressing issues such as code duplication, poor modularity and tight coupling [1]. In this context, software quality tools such as SonarQube [2] play a significant role by helping developers measure and maintain code quality through metrics. Those metrics include complexity, duplication, code smells, as well as maintainability [2].

Existing studies [3] have shown that as software grows increasingly complex due to larger module sizes, longer procedures and greater branching complexity, the cost of software maintenance often rises.

Also, another studies [4] have demonstrated that the implementation of design patterns significantly enhances software development processes, reducing development time and improving code quality. However, there is limited research on how specific design patterns, when applied in real-world projects, influence key metrics related to maintainability and complexity. This study aims to fill this gap by analyzing how different design patterns impact these aspects, using SonarQube as a tool for understanding the code quality.

The main goal of this paper is to evaluate the effectiveness of several design patterns, both with and without their application, in terms of software maintainability. Additionally, we explore how SonarQube metrics can be useful in understanding the improvements resulting from the use of design patterns. The study contributes to the knowledge regarding the application of design patterns in modern software engineering practices.

Materials and Methods

The study centers on assessing how effective various design patterns are in improving software maintainability. To achieve this, there were implemented a comparison of projects that use different design patterns as Abstract Factory, Builder, Factory Method, Prototype, Singleton, Adapter, Bridge, Composite, Decorator, Facade, Flyweight, Proxy, Chain of Responsibility and Command [1] against similar projects that do not use these design patterns. The primary tool used for evaluating code quality was SonarQube, a well-established software quality analysis platform.

Design Patterns Selection

The design patterns chosen for this study were selected based on their types and relevance in modern software development, mostly that were used in most of the projects. These patterns cover the three main categories, those being Creational, Structural and Behavioral [5]. Those patterns are Abstract Factory, Builder, Factory Method, Prototype, Singleton, Adapter, Bridge, Composite, Decorator, Facade, Flyweight, Proxy, Chain of Responsibility and Command (as referenced in Table 1). The application of these patterns to code projects was conducted according to standard implementations as detailed in the design pattern literature, as in [1] and [5].

Table 1

Selected design patterns for analysis

Creational Design Patterns	Structural Design Patterns	Behavioral Design Patterns
Abstract Factory	Adapter	Chain of Responsibility
Builder	Bridge	Command
Factory Method	Composite	
Prototype	Decorator	
Singleton	Facade	
	Flyweight	
	Proxy	

Software Projects

A set of open-source software projects was implemented, ensuring they were relevant and published on GitHub repository “Design_Patters_Scientific_Research” [6] where the SonarQube was also integrated. Each project was cloned and analyzed with and without the application of the selected design patterns. This repository, which includes the whole code, as accessible, those can be analyzed even manually.

SonarQube Analysis

SonarQube was configured to measure several quality metrics, including code complexity, duplication, maintainability and test coverage [2]. Thus, after each committed code, SonarQube is analyzing those lines of code in some minutes, in order to regularly update those metrics. These metrics were selected as they are directly related to the effects of design patterns on software quality. Each project was analyzed before and after the application of the design patterns to track any improvements or regressions, those depending on the case on the design patterns usage.

Data Collection

The results from SonarQube were collected and stored for further analysis. The data was processed and organized to compare the impact of using design patterns on the various quality metrics. We focused on key indicators such as the lines of code (LoC), maintainability index based on code smells [7] and technical debt ratio [8].

These smells indicate that making a change in one part of the code will likely require multiple changes in other parts as well. [7].

Technical debt ratio is determined as the cost of fixing maintainability issues divided by the total cost of development, based on the [8].

Results and Discussion

The results of this study were analyzed to determine how the application of design patterns affected the maintainability of the software projects. The data revealed some key findings, as represented in the Table 2, Table 3 and Table 4.

In Table 2 are present the metrics that are the results for the Creational design patterns as Abstract Factory, Builder, Factory Method, Prototype, Singleton. Those being of two different forms. One with the presence of design pattern and one without the presence of design pattern. Thus, the result represents the metrics, like lines of code, code smells and technical debt ratio in percentage. As it can be seen the table include the observations as grouped by the same design pattern.

Table 2

Maintainability results for the Creational Design Patterns

Creational Design Patterns	Lines of Code (LoC)	Code smells	Technical Debt Ratio (%)
With Abstract Factory	102	2	0.3
Without Abstract Factory	60	18	3.3
With Builder	96	6	1.5
Without Builder	35	3	1.1
With Factory Method	66	2	0.5
Without Factory Method	46	8	2.2
With Prototype	72	2	0.0
Without Prototype	65	5	3.4
With Singleton	34	8	1.0
Without Singleton	52	4	2.9

In Table 3 are present the metrics that are the results for the Structural design patterns as Adapter, Bridge, Composite, Decorator, Facade, Flyweight, Proxy. Those being of two different forms.

Table 3

Maintainability results for the Structural Design Patterns

Structural Design Patterns	Lines of Code (LoC)	Code smells	Technical Debt Ratio (%)
With Adapter	38	6	1.8
Without Adapter	33	7	2.5
With Bridge	67	4	0.7
Without Bridge	56	4	0.8
With Composite	69	3	0.6
Without Composite	61	2	0.5
With Decorator	77	4	0.0
Without Decorator	68	2	0.7
With Facade	64	15	3.1
Without Facade	57	14	2.9
With Flyweight	117	16	0.9
Without Flyweight	118	12	0.8
With Proxy	46	5	1.2
Without Proxy	62	9	1.5

In Table 4 are present the metrics that are the results for the Behavioral design patterns as Chain of Responsibility and Command. Those being of two different forms. One with the presence of design pattern and one without the presence of design pattern. Thus, the result represents the metrics, like lines of code, code smells and technical debt ratio in percentage. As it can be seen the table include the observations as grouped by the same design pattern.

Table 4

Maintainability results for the Behavioral Design Patterns

Behavioral Design Patterns	Lines of Code (LoC)	Code smells	Technical Debt Ratio (%)
With Chain of Responsibility	108	5	0.6
Without Chain of Responsibility	107	9	0.6
With Command	89	13	1.1
Without Command	112	14	0.8

Maintainability for Creational Design Patterns

The Creational Design Patterns evaluated in the study include Abstract Factory, Builder, Factory Method, Prototype, as well as Singleton. The results reveal notable improvements in maintainability when these patterns are applied.

Based on the Table 2, in most cases, applying design patterns resulted in an increase in lines of code. Abstract Factory increased LoC from 60 to 102. Builder increased LoC from 35 to 96. Factory Method and Prototype also added lines. This increase is expected, as Creational Design Patterns often involve additional classes or abstraction layers to manage object creation effectively. However, the trade-off of increased code size is outweighed by improvements in maintainability metrics.

A significant reduction in code smells was observed for Abstract Factory and Factory Method. Abstract Factory reduced code smells from 18 to just 2. Factory Method reduced code smells from 8 to 2. This suggests that applying Creational Design Patterns helps eliminate bad design practices and repetitive code, which often cause maintainability issues.

There is a substantial improvement in the Technical Debt Ratio. Abstract Factory reduced the Technical Debt from 3.3% to just 0.3%. Factory Method and Prototype also achieved notable reductions. The Prototype pattern even eliminated technical debt entirely (0.0%). This demonstrates that Creational Patterns help structure object creation processes in a cleaner, more maintainable way.

Interestingly, the Singleton pattern deviated slightly. The "With Singleton" implementation showed more code smells (8) compared to "Without Singleton" (4). Although technical debt decreased slightly (1.0% vs. 2.9%), this highlights a common criticism of the Singleton pattern, while simplifying access to shared instances, it can introduce code smells like tight coupling or reduced testability.

Maintainability for Structural Design Patterns

The Structural Design Patterns analyzed include Adapter, Bridge, Composite, Decorator, Facade, Flyweight and Proxy. These patterns demonstrated mixed results in terms of maintainability.

Based on the Table 3, the results show a modest increase in LoC for most patterns. Adapter increased LoC from 33 to 38. Decorator increased from 68 to 77. Flyweight showed negligible changes (117 to 118). Structural Design Patterns often add wrappers or new classes to organize code, which explains the slight increase.

The patterns generally helped reduce or stabilize code smells. Adapter reduced code smells from 7 to 6. Proxy reduced them from 9 to 5. However, some patterns like Facade and

Flyweight increased code smells slightly, which could be attributed to added complexity in the implementations.

Most Structural Patterns showed a slight improvement or stabilization of the technical debt ratio. Bridge reduced debt from 0.8% to 0.7%. Decorator reduced it to 0.0%, demonstrating its effectiveness in enhancing code modularity. In contrast, Facade increased debt from 2.9% to 3.1%, suggesting that while it simplifies external interfaces, it may add internal complexity.

Maintainability for Behavioral Design Patterns

The Behavioral Design Patterns analyzed include Chain of Responsibility and Command. These patterns exhibited interesting behavior.

Based on the Table 4, Chain of Responsibility showed almost no change in LoC (108 vs. 107). The Command pattern, however, reduced LoC from 112 to 89, indicating that it simplifies and centralizes behavior management. Chain of Responsibility significantly reduced code smells from 9 to 5, highlighting its ability to decouple responsibilities and improve code organization. Command showed a slight reduction in code smells (14 to 13), which suggests it simplifies action management but retains some complexity.

The technical debt ratio remained stable for Chain of Responsibility (0.6%). Surprisingly, for the Command pattern, the debt slightly increased from 0.8% to 1.1%. This may reflect the added complexity of introducing invoker-receiver-action relationships, despite reducing lines of code.

Conclusions

The results clearly demonstrate that applying design patterns, Creational, Structural or Behavioral, generally improves software maintainability.

Creational Design Patterns improve maintainability by reducing code smells and technical debt, despite adding lines of code. This aligns with their intended purpose to enhance code structure and simplify object creation, especially in larger systems.

Structural Design Patterns provide moderate improvements in maintainability, particularly in reducing code smells and improving code modularity. Patterns like Decorator and Proxy performed well, while Facade and Flyweight exhibited trade-offs between simplicity and added internal complexity.

Behavioral Design Patterns show mixed results. While Chain of Responsibility successfully reduces code smells and maintains technical debt, the Command pattern achieves cleaner code (fewer LoC) but increases technical debt slightly, indicating trade-offs in its implementation.

Projects that applied a combination of the Creational, Structural and Behavioral design patterns demonstrated a higher maintainability index, suggesting that the patterns helped in creating code that is easier to refactor, extend and troubleshoot. The results corroborate the findings of previous studies [1] that suggest design patterns play a crucial role in making software more maintainable over time.

References

1. ERICH, G.; RICHARD, H.; RALPH, J.; JOHN, V. "Design Patterns Elements of Reusable Object-Oriented Software." [Online]. Available: <https://github.com/GunterMueller/Books-3/blob/master/Design%20Patterns%20Elements%20of%20Reusable%20Object-Oriented%20Software.pdf>
2. SonarSource SA, "SonarQube 8.9 Documentation." [Online]. Available: <https://docs.sonarsource.com/sonarqube-server/8.9/>
3. OGHENEOVO, E. "On the Relationship between Software Complexity and Maintenance Costs." [Online]. Available:

-
- https://www.researchgate.net/publication/276498349_On_the_Relationship_between_Software_Complexity_and_Maintenance_Costs
4. Hen, K.J.; Muhammad, E.R. "Evaluating the Impact of Design Patterns on Software Maintainability: An Empirical Evaluation." [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/357824214_Evaluating_the_Impact_of_Design_Patterns_on_Software_Maintainability_An_Empirical_Evaluation
 5. Alexander, S. "Dive Into DESIGN PATTERNS." [Online]. Available: <https://refactoring.guru/files/design-patterns-en-demo.pdf>
 6. Afteni, D. "Design Patters Scientific Research." [Online]. Available: https://github.com/DanielaAfteni/Design_Patters_Scientific_Research
 7. Refactoring.Guru, "Code Smells." [Online]. Available: <https://refactoring.guru/refactoring/smells>
 8. SonarSource SA, "Measuring and Identifying Code-level Technical Debt: A Practical Guide." [Online]. Available: <https://www.sonarsource.com/learn/measuring-and-identifying-code-level-technical-debt-a-practical-guide/>

STUDIU COMPARATIV ÎNTRE SERVER-SIDE RENDERING (SSR) ȘI CLIENT-SIDE RENDERING (CSR) ÎN FRAMEWORK-UL ANGULAR

Valeri BOLOCAN

Departamentul Ingineria Software și Automatică, grupa TI-241M, Facultatea Calculatoare, Informatică și Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Moldova

Autorul corespondent: Valeri Bolocan, valeri.bolocan@isa.utm.md

Coordonatorul științific: Mariana CATRUC, lector universitar, UTM

Rezumat. *Server-Side Rendering (SSR) și Client-Side Rendering (CSR) reprezintă două tehnici esențiale pentru randarea aplicațiilor web, fiecare oferind avantaje distincte în funcție de cerințele proiectului. În cadrul framework-ului Angular, SSR, prin intermediul Angular Universal, generează pagini HTML pe server, aducând beneficii semnificative precum optimizarea SEO datorită indexării eficiente a conținutului și încărcarea inițială rapidă, ceea ce îmbunătățește experiența utilizatorilor, în special pe conexiuni lente. CSR randează conținutul în browser, oferind avantajul unei interactivități fluide și rapide după încărcarea inițială, dar poate întâmpina limitări pe dispozitive cu performanțe reduse. Acest articol analizează beneficiile fiecărei metode: SSR excelează în viteza percepută și accesibilitate, în timp ce CSR se remarcă prin performanța interactivă pe dispozitive moderne. Alegerea dintre SSR și CSR depinde de obiectivele proiectului și de tipologia utilizatorilor. Strategiile hibride, care combină avantajele ambelor tehnici, permit obținerea unui echilibru optim între performanță, SEO și interactivitate, valorificând punctele forte ale SSR și CSR pentru a răspunde nevoilor aplicațiilor web moderne.*

Cuvinte cheie: *server-side rendering, client-side rendering, Angular Universal, performanță web, SEO (Search Engine Optimization).*

Introducere

Metodele de randare a conținutului în aplicațiile web au un impact direct asupra performanței, experienței utilizatorilor și optimizării pentru motoarele de căutare. Server-Side Rendering (SSR) implică procesarea și generarea completă a paginilor HTML pe server, permițând utilizatorilor să acceseze conținutul imediat după încărcare. Client-Side Rendering se bazează pe browser pentru a genera și afișa conținutul, ceea ce poate îmbunătăți dinamica interfeței, dar cu un cost inițial mai mare de încărcare.

Angular, unul dintre cele mai populare framework-uri pentru dezvoltarea aplicațiilor web, suportă ambele abordări. Prin intermediul Angular Universal, dezvoltatorii pot adopta SSR pentru a îmbunătăți vizibilitatea aplicațiilor în motoarele de căutare și pentru a reduce latența percepută. Alegerea dintre SSR și CSR depinde de caracteristicile aplicației și de publicul țintă.

Server-Side Rendering (SSR)

SSR reprezintă o tehnică de dezvoltare web în care serverul generează conținutul HTML a unei pagini, oferind un timp de încărcare inițială mai rapid. Astfel experiența utilizatorului final este mai fluentă și se îmbunătățește SEO. Paginile sunt pregătite pentru indexare de către motoarele de căutare, iar timpul până la afișarea primului conținut este redus semnificativ [1].

Angular Universal permite implementarea eficientă a SSR în Angular. Acest pachet oficial facilitează încărcarea prealabilă a paginilor și va arăta utilizatorilor conținutul de bază în timp ce aplicația de pe partea clientului se încarcă pe fundal. Configurarea Angular Universal presupune utilizarea pachetului `@nguniversal/express-engine`, care integrează Angular cu un server Express utilizat pentru generarea HTML-ului dinamic. Utilizarea SSR în proiect duce la

creșterea complexității în gestionarea stării aplicației între server și client. Transferul eficient al datelor și sincronizarea acestora necesită o configurare amănunțită pentru a preveni erorile și a menține performanța aplicației [2].

Client Side Rendering (CSR)

Arhitectura Angular a fost concepută având în vedere randarea elementelor paginii pe partea de client. Baza aplicațiilor Angular este creată din componente, servicii și module care împreună participă la construirea interfeței de utilizator și la gestionarea logicii din spatele acesteia. Utilizând CSR, aceste componente sunt redată pe partea de client, ceea ce înseamnă că browserul utilizatorului este responsabil pentru construirea HTML-ului și aplicarea dinamică a stilurilor. Această abordare permite o interactivitate ridicată, deoarece aplicația poate răspunde rapid la acțiunile utilizatorului fără a necesita reîncărcarea paginii. Cheia acestui proces constă în utilizarea de către Angular a Document Object Model (DOM) și în capacitatea sa de a-l manipula eficient. Această metodă poate suferi pe urma unui timp mai lung de încărcare inițială, în special pe conexiuni lente sau pe dispozitive cu performanțe scăzute. Pentru a atenua aceste probleme, în Angular au fost introduse funcționalități precum încărcarea întârziată (lazy loading) și preîncărcarea resurselor esențiale, optimizând performanța aplicațiilor bazate pe CSR. Lazy loading reprezintă o tehnică puternică care permite încărcarea numai a părților necesare a aplicației. Componentele și modulele sunt încărcate la cerere pe măsură ce utilizatorul navighează prin aplicație [3].

Metrici de performanță a randării

Analiza diferențelor dintre SSR și CSR în Angular se bazează pe evaluări realizate în medii de producție, utilizând aplicații reale. First Contentful Paint (FCP), măsoară în secunde câte secunde trec din momentul în care utilizatorul navighează până când primul conținut DOM este redat în browser. FCP pentru aplicațiile SSR a înregistrat o medie de 1.2 secunde, semnificativ mai rapid decât media de 2.8 secunde observată în implementările CSR. Această diferență devine mai evidențiată pe platforma mobilă cu conexiuni mai lente, unde SSR oferă un avantaj de până la 65% în timpul de încărcare inițială.

Time to Interactive (TTI), măsoară timpul necesar pentru ca o pagină web să devină complet interactivă. Timpul ce este mai mic de 2.8 secunde este considerat un rezultat bun. TTI prezintă rezultate interesante din motiv că SSR are un TTI mediu de 3.5 secunde, comparativ cu 3.1 secunde pentru CSR. Experiența utilizatorului este adesea percepută ca fiind mai rapidă în cazul SSR datorită conținutului vizibil mai devreme. Această nepotrivire între performanța tehnică și percepția utilizatorului subliniază importanța optimizării pentru metrice centrate pe utilizator.

Largest Contentful Paint (LCP), după cum sugerează și denumirea, măsoară timpul necesar pentru a reda cel mai mare element al site-ului. LCP demonstrează superioritatea SSR în scenarii de încărcare inițială, cu o medie de 2.1 secunde față de 3.9 secunde în cazul CSR. Performanța SSR este influențată semnificativ de configurația serverului și optimizările implementate, în timp ce performanța CSR pentru această metrică depinde mai mult de puterea de procesare a dispozitivului client și de eficiența bundle-urilor JavaScript. Implementările SSR optimizate pot reduce cu până la 70% timpul necesar pentru afișarea conținutului utilizatorului în comparație cu implementările CSR de bază. Acest avantaj este în special relevant pentru site-urile de știri, blog-uri și platforme de e-commerce unde timpul până la primul conținut vizibil este crucial pentru experiența generală a utilizatorului [4].

Impactul asupra SEO

Studiul efectelor SEO a vizat multiple direcții, incluzând viteza de indexare, profunzimea crawling-ului și poziționarea în rezultatele căutării. Datorită faptului că conținutul HTML este static generat pe server în cazul implementărilor SSR, crawlerele motoarelor de căutare pot

indexa și accesa cu ușurință conținutul paginei, fără a fi nevoie să utilizeze JavaScript, care este dificil pentru crawlere. De asemenea, utilizând SSR se asigură că motoarele de căutare primesc metadate exacte și relevante pentru fiecare pagină, lucrul ce sporește șansele de indexare și clasificare mai bună a datelor.

Viteza de indexare a paginilor noi este de 3 până la 5 ori mai rapidă pentru implementările SSR comparativ cu CSR. Crawlerele motoarelor de căutare accesează și indexează conținutul nou în medie în 2-4 ore pentru SSR, față de 12-24 ore pentru CSR.

Scorul de performanță în instrumentele de analiză SEO este considerabil mai mare pentru implementările SSR, cu un avantaj mediu de 25 de puncte în evaluările Lighthouse [5]. Aceasta are un impact direct asupra creșterii vizibilității organice.

Experiența utilizatorilor

Analiza experienței utilizatorilor a fost realizată pe baza feedback-ului colectat prin sesiuni de testare cu utilizatori reali. Rezultatele au evidențiat diferențe considerabile în modul în care utilizatorii interacționează cu aplicațiile SSR față de cele CSR.

Percepția vitezei de încărcare a fost notabil mai bună pentru implementările SSR pentru circa 80% de persoane contactate. Acest aspect este important pentru rata de abandon, care a fost cu 35% mai mică pentru site-urile SSR în primele 5 secunde de interacțiune.

Comportamentul utilizatorilor pe conexiuni mobile a evidențiat diferențe și mai pronunțate. Pe conexiuni 3G, implementările SSR au menținut o rată de implicare de 65%, în timp ce site-urile CSR au înregistrat doar 40%. Timpul mediu petrecut pe site a fost de asemenea mai mare pentru implementările SSR, sugerând o experiență mai satisfăcătoare pentru utilizatori.

Un aspect specific a fost comportamentul diferit al utilizatorilor în funcție de tipul de conținut afișat pe pagină. În cazul conținutului static sau bazat pe text, SSR a oferit constant o experiență superioară. În schimb, pentru aplicații interactive, cum ar fi editoare de conținut sau dashboard-uri, CSR a demonstrat avantaje clare în aspecte de fluiditate și responsivitate.

Consumul de resurse și costuri operaționale

Analiza consumului de resurse și a costurilor operaționale denotă diferențe semnificative între cele două abordări. SSR necesită resurse server mai consistente, rezultând în costuri operaționale mai mari cu aproximativ 30% comparativ cu implementările CSR pure. Acest lucru se datorează faptului că SSR implică generarea conținutului pe server pentru fiecare cerere, crescând astfel încărcarea acestuia. Însă, aceste costuri sunt parțial compensate de reducerea lățimii de bandă necesare pentru transferul de date către client. Statistica demonstrează că implementările SSR au redus cu până la 60% dimensiunea inițială a bundle-urilor JavaScript transmise către client, rezultând în economii semnificative de bandă pentru site-urile cu trafic mare. Această optimizare se reflectă în costuri reduse de CDN și îmbunătățirea experienței pentru utilizatorii cu conexiuni limitate [6]. CDN-urile stochează în cache conținutul paginii web astfel reducând necesitatea de a face multiple solicitări către serverul de origine, scăzând astfel costurile de transfer de date.

Scalabilitate și mentenanță

Aspectele legate de scalabilitate și mentenanță implică dificultăți specifice pentru fiecare abordare. Implementările SSR necesită o arhitectură de servere mai sofisticată cu considerații specifice pentru:

- balansarea încărcării și redundanță;
- caching la nivel de server;
- monitorizarea și optimizarea performanței serverului;
- gestionarea memoriei și a conexiunilor concurente.

În contrast, implementările CSR sunt mai ușor de scalat din perspectiva infrastructurii, dar pot întâmpina provocări legate de:

- optimizarea bundle-urilor Javascript;
- gestionarea stării aplicației;
- cache-ing și invalidare la nivel de client
- debugging și monitorizare în producție.

Securitatea și conformitate

Din perspectiva securității, ambele abordări prezintă vulnerabilități și provocări specifice. SSR oferă un control mai bun asupra datelor sensibile și reducerea expunerii logicii de business, dar necesită atenție sporită la securizarea serverului și prevenirea atacurilor specifice serverului. Vulnerabilitățile potențiale includ diverse forme de injecții de cod malițios, care pot exploata atât procesul de renderizare Node.js cât și manipularea input-urilor utilizator în timpul generării HTML. Un aspect particular de îngrijorare îl reprezintă posibilitatea exploatarea dependențelor vulnerabile din ecosistemul npm. Pentru a adresa aceste provocări, implementările SSR necesită o abordare multi-stratificată a securității, începând cu sanitizarea strictă a input-urilor înainte de procesare pe server și continuând cu implementarea unui sistem robust de validare a datelor. Utilizarea instrumentelor specializate precum helmet.js pentru securizarea header-elor HTTP s-a dovedit esențială, la fel ca și monitorizarea și actualizarea regulată a dependențelor. Protecția împotriva atacurilor de tip Denial of Service reprezintă o altă preocupare majoră pentru implementările SSR. Strategiile eficiente includ implementarea sistemelor de rate limiting pentru request-uri, configurarea atentă a timeout-urilor pentru procesele de renderizare și utilizarea sistemelor de caching pentru reducerea încărcării serverului. Mecanismele de failover și recuperare joacă, de asemenea, au un rol important în menținerea disponibilității serviciului.

CSR, în schimb, expune mai multă logică către client, dar beneficiază de izolarea naturală oferită de browserul utilizatorului. Vulnerabilitățile specifice CSR includ riscurile de Cross-Site Scripting prin injecția de conținut dinamic și posibilitatea manipularii stării aplicației în browser. Atacurile Man-in-the-Middle în timpul transferului de date reprezintă o altă amenințare semnificativă. Pentru a contracara aceste riscuri, implementările CSR necesită utilizarea cookies-urilor HttpOnly pentru sesiuni, implementarea verificărilor de integritate pentru bundle-uri și sanitizarea riguroasă a conținutului dinamic folosind DomSanitizer.

Conformitatea cu reglementările GDPR prezintă provocări distincte pentru ambele abordări. SSR oferă avantaje semnificative în implementarea cerințelor de protecție a datelor, permițând un control mai granular asupra procesării informațiilor personale și facilitând implementarea principiului "Privacy by Design" la nivel de server. Gestionarea consimțământului utilizatorilor și implementarea mecanismelor de ștergere a datelor conform articolului 17 din GDPR pot fi realizate mai eficient în contextul SSR. Sistemele de logging securizat pentru audit, criptarea datelor atât în tranzit cât și în repaus, precum și mecanismele de pseudonimizare a datelor personale reprezintă componente esențiale ale unei implementări conforme.

Concluzii

Alegerea între SSR și CSR în Angular reprezintă o decizie strategică cu implicații semnificative asupra succesului proiectului. SSR, sprijinit de Angular Universal, excelă în îmbunătățirea SEO și a timpului de încărcare perceput, fiind potrivit pentru aplicațiile orientate către conținut static sau indexabil. CSR, prin flexibilitatea sa, susține o experiență de utilizare interactivă și personalizată, adaptându-se nevoilor aplicațiilor dinamice. Tendințele actuale în dezvoltarea web indică o creșterea a adoptării soluțiilor hibride, care combină în mod inteligent beneficiile ambelor abordări pentru a maximiza performanța și experiența utilizatorilor.

Referințe:

1. Thalhammer, A. „Updated: Guide for Server-Side Rendering (SSR) in Angular”, ANGULARarchitects. Data accesării: 10 mai 2025. [Online]. Disponibil la: <https://www.angulararchitects.io/en/blog/guide-for-ssr/>
2. „How To Use Angular Universal for Server Side Rendering | DigitalOcean”. Data accesării: 10 mai 2025. [Online]. Disponibil la: <https://www.digitalocean.com/community/tutorials/angular-angular-universal>
3. Chakraborty, P. „How to Use Client-Side Rendering with Angular”. Data accesării: 11 mai 2025. [Online]. Disponibil la: <https://blog.pixelfreestudio.com/how-to-use-client-side-rendering-with-angular/>
4. „Comparisons of Server-side Rendering and Client-side Rendering for Web Pages”. [Online]. Disponibil la: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1797261/FULLTEXT02.pdf>
5. „Demystifying Angular 17 SSR: A Simple Guide to Understanding the Rendering Process”, DEV Community. Data accesării: 12 mai 2025. [Online]. Disponibil la: <https://dev.to/bytebantz/demystifying-angular-17-ssr-a-simple-guide-to-understanding-the-rendering-process-24gn>
6. „How can using a CDN reduce bandwidth costs?” Data accesării: 12 mai 2025. [Online]. Disponibil la: <https://www.cloudflare.com/learning/cdn/how-cdns-reduce-bandwidth-cost/>

AUTONOMOUS DRONE NAVIGATION METHODS REVIEW

Leon BRÂNZAN*

Departamentul Informatică și Ingineria Sistemelor, Facultatea Calculatoare, Informatică și Microelectronică,
Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Moldova

*Corresponding author: Leon Brânzan, leon.branzan@doctorat.utm.md

Coordinator: Irina COJUHARI, conf. univ., dr., Universitatea Tehnică a Moldovei

Abstract. *This paper provides a systematic review of self-navigation systems for drones (unmanned vehicles). The purpose of this review is to evaluate modern approaches to developing navigation strategies for autonomous vehicles. The data gathered and analyzed in this review can be used for developing new strategies for autonomous vehicle navigation without infringing intellectual property of original inventors, proposing well-informed solutions. This review is focused on analyzing methodologies described in 140 technological patents filed in the last several years. The patents for the review were gathered from specialized databases and Google Patents. The results of this review were synthesized by comparing the hardware (sensor type, controller type, etc.) and software (system, algorithms) described in the implementation section of a patent.*

Because patent information can only give a rough idea of existing industrial trends, and actual software and hardware used by a manufacturer is typically a trade secret or protected procedural knowledge, this review's synthesized results are only partially complete. However, the results provide some insights into the ways drone navigation systems are currently developed and highlights the most widely used technology (e.g. the prevalence of machine learning algorithms for pattern recognition) and methods (e.g. fuzzy logic).

Keywords: *unmanned aerial vehicle; machine learning; patent; pathfinding; interoperability.*

Introduction

Recently the rate of commercial unmanned vehicle (UV, “drone”) applications has significantly risen due to the ease of procurement and replacement of small items produced continuously (in series); COVID-19 was another important factor [MOHSAN]. The global market size of aerial drone manufacturing is estimated at 33 billion USD [GMI]. The installation base of commercial drones has reached ~3 million units with an estimated market value of 3 billion USD [WOOD] (with other sources citing the FAA, claiming that there were almost 900000 units registered in the US alone as early as 2021 [FBI]). With an observed annual growth rate of 10% the number of active units is expected to reach 4.5 million by the year 2029 [GVR]. While it is reported that the expected rate of growth has been repeatedly trimmed (from 24% in 2023 to 14% in 2024 to 10% currently) [BUTTERWORTH], which indicates a high level of instability in the market and uncertainty among investors, the magnitude of the impact of unmanned vehicles on key industries is undeniable.

High demand for new models and types of vehicles creates high competition space. The rise of drone usage in military applications has also been steep, with many companies not only producing unmanned vehicles but also converting fighter jets into unmanned platforms, which has been done since at least the 1940s [GOEBEL]. This approach is still more expensive than designing and producing dedicated unmanned vehicles, which has been a steadily rising trend among weaponized drone manufacturers, with at least 30 countries producing combat drone (UCAV) variants [SAYLER]. New technological solutions are being introduced yearly which can be tracked by reviewing technical papers, journal articles, manufacturer announcements, and

patents published on this subject. For this article patents were chosen as the primary source. This is primarily due to the fact that actual software and hardware used by a manufacturer is typically a trade secret or protected procedural knowledge. The obvious limitation of this approach is that not every technology is eventually patented, so the data gathered by researching patents is incomplete. However, patents provide some insights into the ways drone navigation systems are currently developed and highlight the most widely used technology.

For the purposes of this article autonomous navigation has been chosen as the focus. Autonomous drones make up the smallest share of the commercial market [GMI] – no more than 20% of the entire install base – while making up more than half of all drones currently available if combined with “semi-autonomous” solutions. This could indicate that there’s a trend among manufacturers to transition from semi-autonomous to fully autonomous solutions, because most tasks (surveying, mapping, monitorization, transportation, payload delivery [FBI]) performed by commercial drones are routine and don’t require a human operator for the majority of drone operations in those contexts. Another reason for transitioning to fully autonomous solutions is lack of skilled drone operators, which is a significant limiting factor on the rate of growth of drone application.

For these and other reasons, modern autonomous drone solutions have to adapt to highly complex navigation challenges. The environments in which autonomous vehicles must operate are very dynamic, with the rates of environmental data having to be processed reaching up to 100 GB per hour [SETHI]. While semi-autonomous vehicles can rely on pre-determined navigation paths and checkpoints (i.e. using GPS modules), this is not always viable for fully autonomous vehicles. In such cases, the vehicle requires a strategy for generating navigation paths in real-time. Continuous pathfinding requires specialized algorithms (e.g., see [LUMELSKY]) and specialized hardware.

One important characteristic of a UAV is its form-factor and flight model. Generally, UAVs are categorized either as fixed-wing, rotary-wing, or hybrid. While hybrid UAVs include multi-rotor models (i.e. rotary-wing drones that have all rotors in the same plane, as opposed to the traditional “helicopter” configuration, see fig. 1), historically the term “hybrid” is associated with airframes that support both fixed-wing horizontal flight and vertical take-off and landing (VTOL [EASA]).



Figure 1. “Traditional” dual-rotor configuration (left) [UST]; multi-rotor model (right) [DJI]

Rotary drones make up more than 80% of all globally produced units [GMI], with this estimate being closer to 90% if multi-rotor drones are included in the “hybrid” category. This implies that the majority of navigational strategies and solutions must primarily target rotary-wing UAVs, which comes with a set of constraints.

The other constraint has to do with how potential obstacles are detected. To detect obstacles in three-dimensional space (i.e. the chance of mid-air collision), the vehicle has to have a sensor installed. Sensors used today can be categorized into four main types [MAGNABOSCO][KOON].

1. LIDAR (relatively expensive) [DJI];
2. Radar (susceptible to signal interference) [KAPOOR];
3. Optical (depends on image recognition technology) [ARCHER];

4. Laser rangefinder (single-beam or sweeping, limited capability).

Often autonomous vehicles can integrate data received from multiple sensor types. This is due to the varying lighting and weather conditions (operating at night, under heavy rain, etc.) and other environmental factors that could negatively affect sensor capabilities (thick clouds, smoke, fog, etc.). This requires employing some form of “sensor fusion” [WANG].

Traffic in the area of operation is another limiting factor that needs to be taken into account. Thus, the challenging aspect of developing navigation strategies for autonomous vehicles consists of “balancing computational efficiency with navigation reliability while maintaining safe operation across degraded sensor conditions and unexpected obstacles” [SETHI]. This is often accomplished by developing machine learning algorithms for real-time obstacle avoidance; position determination systems that ensure redundancy; weather-aware pathfinding solutions; traffic management frameworks, etc.

Traditionally, software stacks for automated vehicles are designed according to the sense-plan-act principle [MUELLER]. The “sense” component is responsible for constructing a model of the environment from detected sensor data. The “plan” component derives a plan for the automated vehicle based on the generated model. The “act” component translates this into control commands for the vehicle. It should handle degradation reliably. To ensure this, two parallel signal-processing paths are implemented – one optimized for performance, one for safety. This can cause the safety path to become a bottleneck [MUELLER].

Relevant data points

Several problems were encountered during the information gathering phase of this work. Most patents on the subject are published in China only. There are public online databases that provide machine-translated text of such patents in a limited capacity for free, but the quality of translation is sometimes lacking. Patents in general have a very terse language, with the text of the patent being filled with specialized jargon. This makes the contents very hard to sift through while searching for relevant information.

Another issue that exacerbates that problem is the fact that the patent files that can be found online are stored as image sheets. This means that the text in the file cannot be copied, and the file itself doesn’t support text search in most file viewing applications. As a result, analysing the text requires having a good text recognition tool or relying on online databases that duplicate the patent’s text on their web pages. Those are some of the issues that make working with patents challenging.

Once the text was analyzed, the following methodology was applied to extract the relevant data from each patent. The most relevant information from the point of view of observing current technological trends in autonomous drone navigation development was extracted from each patent for further analysis. Keywords encountered throughout the text were accumulated, then frequency analysis was done on the resulting word cloud. This data was used to identify yearly technological trends, and trend shifts in the field. The most relevant categories for keyword search were: data gathering methods (what sensors are used in the invention); data processing methods (real-time and post-processing, this can include image recognition algorithms, machine learning algorithms, sensor fusion etc.); decision making processes (hardware and software controllers used to communicate actions to the drone); navigation strategies (algorithms for path generation, obstacle detection and avoidance etc.).

Another crucial aspect of the gathered data is the ratio of academic or public to commercial organizations. This can help determine the most up-to-date information channels to follow to stay informed on the most recent developments in the field.

Autonomous drone navigation started seeing a rise in interest from researchers and inventors beginning in 2014 (it needs to be said that patents filed on the subject of this paper’s topic before 2010 weren’t found), with another noticeable increase in 2018 (see tab. 1).

Table 1

Total number of reviewed patents distributed by date of filing

Year of filing	No. of patents	Year of filing	No. of patents
2024	5 (3)	2018	15 (12)
2023	22 (8)	2017	9 (2)
2022	22 (9)	2016	10 (3)
2021	18 (7)	2015	4 (2)
2020	13 (7)	2014	8 (6)
2019	16 (6)	2010	1

Since 2018 the topic has seen a steady yearly increase in new inventions (with a drop in 2020, that could be associated with COVID-19). The second column in the table above shows the total number of patents filed that year, and – the number of patents filed by public institutions in parens; the second number correlates with the jump in interest in 2018. Since 2018 40%-60% of all yearly patents have been filed by public institutions, which could indicate an increased interest in the subject of autonomous drone deployment from various governments.

Overall, the prevalence of Chinese researchers and inventors in this area of research and development is noteworthy. 57% of all the reviewed patents were first published in Chinese, with the US accounting only for 29% of all filed patents (see tab. 2).

Table 2

Distribution of patents across countries

Total patents	143	1
China	82	0.5734
US	42	0.2937
S. Korea	8	0.0559
Japan	3	0.0209
Other	8	0.0559

It can be seen from the table above that drone navigation technologies aren't being developed and subsequently patented in countries outside of South-East Asia (with the exception of the US, which is the second largest drone market). The number of patents per institution tells a similar story. 17% of all drone navigation patents filed in the last 10 years belong to only 6 organizations. Together, Chinese higher education institutions filed 58 patents, making up 70% of all patents filed in China (only 24 patents out of 82 were filed either by state-owned Chinese corporations or by individual inventors) and 40% overall. This displays a trend that Chinese researchers and inventors are motivated to work in this field at much greater numbers than in the rest of the world, which displays that the future of autonomous drone development is firmly tied to China, at least in the foreseeable future.

Methodology

Out of the 140 patents found according to the corresponding classification, only 44 were published in English. Between those 44 patents, a simple text search was performed to determine 378 relevant keywords. The keywords were then used to conduct a frequency analysis of 44 patents. There were 73682 occurrences in total. Below is a sample table with the top 10 most relevant results.

Table 3

Keyword occurrence frequency in 44 patents

Keyword	Frequency	Keyword	Frequency
image	2272	obstacle	568
camera	1195	network	554
interface	639	machine	387
3D	616	gps	387
state	600	visual	349

As the table above suggests, a large number of patents focus on image recognition for finding solutions to autonomous drone navigation. On average the word “image” is used 50 times per patent, the word “camera” – 27 times. This is coupled with a high rate of occurrence for words “machine” (387) and “learning” (247), which could show the popularity of image recognition algorithms for target identification, obstacle avoidance and other applications.

Other notable results are: “virtual” (334), “cloud” (312); infra-red” (258), “machine-readable” (236), “auto-return” (221), “lidar” (215), “matrix” (212), “2D” (132), “training” (124), “graph” (99), “radar” (94), “laser” (90), “api” (72), “neural network” (68), “artificial intelligence” (63), “sensor fusion” (58), “simulation” (58), “mesh” (50), “kalman filter” (43), “thermal” (40). All of this suggests heavy use of linear algebra methods, state machines, Markov chains, machine learning, deep learning, graph theory – for solving image recognition problems, pathfinding problems, obstacle avoidance problems. At the same time, there’s a noticeable push towards integrating drones into computer networks with machine-to-machine interfaces, human-to-machine interfaces, programming interfaces, specialized protocols for exchanging data between drones and control units, cloud computing and cloud storage capabilities etc. Another interesting aspect is the prevalence of LiDAR sensors in drone design. This is often combined or replaced with infra-red imaging with sensor fusion solutions. But with the decrease in cost of integrating LiDAR technology, the trend towards using multiple LiDAR sensors for autonomous drone navigation is expected to steadily rise in the future.

Conclusions

Many limitations on how drones could be employed currently could boost the development of new autonomous drone technology. Lack of uniform air traffic management across jurisdictions, lack of specialized infrastructure (signaling, charging, landing etc.), lack of skilled human operators and the cost of training human operators, lack of comprehensive law framework (Beyond Visual Line of Sight flights etc.) on regional, or international levels – severely limits the scale at which drones could be deployed. Autonomous drone solutions could help alleviate some of the problems listed above.

Autonomous drone navigation development already presents multiple solutions for obstacle recognition, path planning, trajectory generation, take-off and landing etc. Many emerging and well-established hardware and software modules (sensing, communication, energy storing, flight etc.) are currently available to developers: optical, LiDAR, infra-red, and other sensors can be installed on drones for imaging; radio, Wi-Fi, and other channels of communication can enable fully-autonomous or low-signal drone operation; different flight models enable drones to loiter for long periods or traverse large distances and perform various tasks.

Another interesting aspect of this review was the lack of dedicated tools for patent research. This work showed that open web-based databases (Google’s patent search, Espacenet etc.) are lacking in many aspects, with machine-generated translations and summaries, keyword lists and relevant patent categories oftentimes not presenting enough information about the technical details of any given patent.

The difficulty of working with patent applications led to some issues with the analysis done for this review. Gathering enough data, gathering data of high quality was a challenge and took the most time. Because some part of that process was done manually (e.g. recognizing relevant words to be included into the pool of keywords, adding context manually, filtering out similar words, synonyms or different forms of the same word and excluding them), the analysis cannot be considered complete.

As a recommendation for future work, a comprehensive suite of tools should be developed to streamline and automate this process of analyzing patent application text. Such tool(s) should be able to perform the following tasks without (or with very little) human intervention.

(Optional) Process the raw patent application file and extract the application's text (with a translation step in cases where the text is only available in a foreign language).

Scan the full body of text and perform a frequency count for each word that is contextually relevant to the current search (based on a pre-made list of keywords or just a general description of the goal).

Recognize different forms of the same word and not include them in the final count. Infer context from the surrounding text to distinguish word uses (e.g. "machine-readable" has the context of communicating or processing data, "machine learning" has the context of applying algorithms from a certain class for a certain task, "ground machine" has the context of identifying the type of vehicle – in all cases the word "machine" is used differently, and that difference can be inferred).

Highlight the selected words in the text, using each word's frequency to identify trends in word usage.

Such tools would speed up the process of analyzing texts dense with specialized jargon and facilitate automated searches for important information (for example, using large language models trained specifically for such tasks).

Acknowledgments. This work has been funded by the Moldavian Ministry of Education and Research project "Satellite systems and platform for monitoring plantations and aquatic surfaces using space and drone technologies", code 020401.

References

1. ARCHER, C.; WHITE, J.; NEECE, R. Airborne FLIR Sensors for Runway Incursion Detection; Güell, J. J., Uijt De Haag, M., Eds.; Orlando, Florida, USA, 2009; p 73280E. <https://doi.org/10.1117/12.818138>.
2. BUTTERWORTH-HAYES, P. Global drone industry market forecasts: analysts trim their growth predictions again. Unmanned Airspace. <https://www.unmannedairspace.info/utm-and-c-uas-market-analysis/global-drone-industry-market-forecasts-analysts-trim-their-growth-predictions-again/> (accessed 2025-05-29).
3. DELGADO, J.; MAINAR, E.; PEÑA, J.M. On the Accuracy of de Casteljau-Type Algorithms and Bernstein Representations. *Computer Aided Geometric Design* 2023, 106 (102243). <https://doi.org/10.1016/j.cagd.2023.102243>.
4. GOEBEL, G. Modern US Target Drones. In *Unmanned Aerial Vehicles*; Vectors; 2006.
5. HALES, T.C. The Honeycomb Conjecture. arXiv May 20, 2002. <https://doi.org/10.48550/arXiv.math/9906042>.
6. HART, P.; NILSSON, N.; RAPHAEL, B. A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths. *IEEE Trans. Syst. Sci. Cyber.* 1968, 4 (2), pp. 100–107. <https://doi.org/10.1109/TSSC.1968.300136>.

7. IGNATIOUS, H.A.; SAYED, H.-E.; KHAN, M. An Overview of Sensors in Autonomous Vehicles. *Procedia Computer Science* 2022, 198, pp. 736–741. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.12.315>.
8. KAPOOR, S.; GAMPALA, G. Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW) Radar for ADAS Applications. Troy, MI. <https://altair.com/resource/frequency-modulated-continuous-wave-fmcw-radar-for-adas-applications> (accessed 2025-05-29).
9. KOON, J. How Many Sensors For Autonomous Driving? *Semiconductor Engineering*. June 1, 2023. <https://semiengineering.com/how-many-sensors-for-autonomous-driving/> (accessed 2025-04-20).
10. LI, L.; SHUM, H.P.H.; BRECKON, T.P. Less Is More: Reducing Task and Model Complexity for 3D Point Cloud Semantic Segmentation. In *2023 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*; IEEE: Vancouver, BC, Canada, 2023; pp 9361–9371. <https://doi.org/10.1109/CVPR52729.2023.00903>.
11. LUMELSKY, V.J.; STEPANOV, A.A. Path-Planning Strategies for a Point Mobile Automaton Moving amidst Unknown Obstacles of Arbitrary Shape. *Algorithmica* 1987, 2, pp. 403–430. <https://doi.org/10.1007/BF01840369>.
12. MAGNABOSCO, M.; BRECKON, T.P. Cross-Spectral Visual Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) with Sensor Handover. *Robotics and Autonomous Systems* 2013, 61 (2), pp. 195–208. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2012.09.023>.
13. MOHSAN, S.A.H.; ZAHRA, Q. ul A.; KHAN, M.A.; ALSHARIF, M.H.; ELHATY, I.A.; JAHID, A. Role of Drone Technology Helping in Alleviating the COVID-19 Pandemic. *Micromachines* 2022, 13 (10), pp. 1593. <https://doi.org/10.3390/mi13101593>.
14. MORAVEC, H.; ELFES, A. High Resolution Maps from Wide Angle Sonar. In *Proceedings. 1985 IEEE International Conference on Robotics and Automation*; Institute of Electrical and Electronics Engineers: St. Louis, MO, USA, 1985; Vol. 2, pp 116–121. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.1985.1087316>.
15. MUELLER, J.C.; STOLL, M.; DOLGOV, M.; KOHLHAAS, R.; RUPPIN, S. Hierarchical System for Controlling an Automated Vehicle. US 2025/0100579 A1, March 27, 2025.
16. SAYLER, K. *A World of Proliferated Drones: A Technology Primer*; A world of proliferated drones; Center for a new American security: Washington, DC, 2015.
17. SETHI, V. *Autonomous Navigation of Drones*; Drones; Technical report; GreyB Patent Research: Singapore, 2025; p 142. <https://xray.greyb.com/drones/autonomous-drone-navigation> (accessed 2025-05-01).
18. THRUN, S. Integrating Grid-Based and Topological Maps for Mobile Robot Navigation. In *Proceedings of the Thirteenth National Conference on Artificial Intelligence AAAI*; Association for the Advancement of Artificial Intelligence: Portland, Oregon, 1996; Vol. 2, pp 944–950.
19. WANG, B.; ZHAO, H.; ZHUANG, Y. DaCFN: Divide-and-Conquer Fusion Network for RGB-T Object Detection. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics* 2023, 14, pp. 2407–2420. <https://doi.org/10.1007/s13042-022-01771-9>.
20. WENG, F. Udacity Sensor Fusion Nanodegree Program, 2021. <https://github.com/fanweng/Udacity-Sensor-Fusion-Nanodegree> (accessed 2025-05-29).
21. WOOD, L. *Connected Commercial Drones Report 2025 - The Number of Connected Commercial Drones Reached 2.8 Million Units Worldwide in 2024 and is Set to Reach 4.5 Million Units by 2029*. BUSINESS WIRE. <https://www.businesswire.com/news/home/20250425414769/en/Connected-Commercial-Drones-Report-2025---The-Number-of-Connected-Commercial-Drones-Reached-2.8-Million-Units-Worldwide-in-2024-and-is-Set-to-Reach-4.5-Million-Units-by-2029---ResearchAndMarkets.com> (accessed 2025-05-29).

-
22. DJI, LiDAR Drone Systems: Using LiDAR Equipped UAVs: Everything you need to know about how drone LiDAR is revolutionizing mapping and geospatial data. Enterprise Insights. <https://enterprise-insights.dji.com/blog/lidar-equipped-uavs> (accessed 2025-05-29).
 23. Commercial Drone Market - By Offering (Fixed Wing Drone, Rotary Blade Drone, Hybrid Drone), By Mode of Operation (Remotely Operated, Semi-Autonomous, Autonomous), By Application, By Distribution Channel & Forecast, 2024 - 2032; Forecast GMI115; Global Market Insights, 2024; p 240. <https://www.gminsights.com/industry-analysis/unmanned-aerial-vehicles-UAV-commercial-drone-market> (accessed 2025-05-29).
 24. UST, Alpha Unmanned Systems: Helicopter UAVs: Rotary Wing Drones for Maritime, Naval & Security Operations. *Unmanned Systems Technology*. 2025. <https://www.unmannedsystemstechnology.com/company/alpha-unmanned-systems/> (accessed 2025-05-29).
 25. GVR, Commercial Drone Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Rotary Blade, Hybrid), By Application, By End Use, By Propulsion Type, By Range, By Operating Mode, By Endurance, By Maximum Takeoff Weight, By Region, And Segment Forecasts, 2025 - 2030; Forecast 978-1-68038-482-6; Grand View Research, 2025; p 171. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/global-commercial-drones-market> (accessed 2025-05-29).
 26. EASA, Vertical Take-off and Landing (VTOL). EASA Light. <https://www.easa.europa.eu/en/light/topics/vertical-take-and-landing-vtol> (accessed 2025-05-29).
 27. FBI, Commercial Drone Market Size, Industry Share & COVID-19 Impact Analysis, By Weight (<2 Kg, 2 Kg - 25 Kg, and 25 Kg - 150 Kg), By System (Hardware (Airframe, Propulsion System, Payload, and Others) and Software), By Technology (Fully Autonomous, Semi-Autonomous, and Remote Operated), By Application (Filming & Photography, Horticulture and Agriculture, Inspection and Maintenance, Mapping and Surveying, Surveillance & Monitoring, Delivery and Logistics, and Others), and Regional Forecast, 2025-2032; Forecast FBI102171; Fortune Business Insights, 2025; p 200. <https://www.fortunebusinessinsights.com/commercial-drone-market-102171> (accessed 2025-05-29).

GRAVITY: A DOMAIN-SPECIFIC LANGUAGE FOR PHYSICS EDUCATION

Mihaela CATAN, Daniela CEBOTARI*, Ion VORNICESCU, Gheorghe GURSCHI

Department of Software Engineering and Automatics, Group FAF-231, Faculty of Computers, Informatics, and
Microelectronics, Technical University of Moldova, Chișinău, Republic of Moldova

*Corresponding author: Daniela Cebotari, daniela.cebotari1@isa.utm.md

Scientific Coordinator: Irina COJUHARI, conf. univ., dr., DISA

Abstract. *This study shows the possibility of creating different physics models using a Domain-Specific Language (DSL). Physics education frequently struggles to create a connection between theoretical knowledge and experiential understanding. As a result, this paper solves these challenges and introduces a proposed solution that bridges the gap between theoretical and applied knowledge in Physics education, in the form of a DSL, “GravITy”, specifically for interactive Physics simulations. The idea behind GravITy is to provide high-level, Physics-centric constructs that allow teachers and students to describe complex scenarios with straightforward commands, rather than long general code. The Grammar Definition of GravITy, which details the formal structure of the DSL through Backus-Naur Form, semantic flow, examples, and the processes of lexing and parsing, is key to achieving this ease of use. An interpreter is then utilized to convert GravITy code into dynamic Processing visualizations. The DSL’s design is developed to integrate these interactive simulation capabilities directly into the language, enabling immediate visualization of concepts and real-time feedback as users tweak parameters.*

Keywords: *Domain Specific Language, EdTech, Education, Physics.*

Introduction

Within Physics education, the challenge of mastering theoretical knowledge and practical understanding has long persisted. Conventional approaches to teaching, such as lectures and learning from textbooks, often do not succeed in offering the quality learning needed to understand sophisticated physical phenomena. Educational technology tools are available in many forms, including interactive simulations and virtual laboratories, which have indeed proven to be effective resources for showcasing some of the more abstract ideas.

Nevertheless, despite all these tools, most of the current solutions are either too complicated for non-programmers to use or simply lack the particular functionalities. This served as a premise for the development of GravITy - a Domain-Specific Language [1,2] tailored for Physics education to tackle these challenges.

Domain Analysis

The adoption of personal computers, tablets, and laptops connected to the internet, serves as a cornerstone in the advancement of educational practices. The rise of educational technology, commonly referred to as EdTech, has held the promise of democratizing education and tailoring instructions to individual needs [3].

One of the many advantages of EdTech is the ability to make abstract concepts more tangible and relatable. For instance, virtual reality can transport students inside a cell to witness its functions or coding platforms can allow students to create their own apps and games [4]. As a result, in the United States, since 2020, EdTech adoption among K-12 schools has increased by 99% [5].

The resultant problem statement is that students and educational institutions face the challenge of quickly and accurately generating graphical representations and performing computations on experimental data in Physics, which hampers their ability to study effectively and understand the results, ultimately affecting the quality of education.

A summarization of the advantages and disadvantages of creating a Physics Domain Specific Language is provided in Tab. 1.

Table 1

Advantages and disadvantages of creating a Physics DSL

Advantages	Disadvantages
Graphical Representation	High initial cost
Data efficiency	Tooling limitations
Productivity Boost	Steep learning curve
High-Level Abstraction	Maintenance demands

Grammar Design in the Backus-Naur Form

To support a variety of Physics simulations, the grammar of GravITy has a high complexity, while at the same time remaining user-friendly. It contains the following token types:

- **Keywords:**

- Simulation Structure: simulation
- Physics Modules: collision, electrostatic_field, drag_force, attraction_force, wave, uniform_motion, accelerated_motion, circular_motion, gravity, spring, pendulum, rolling_uphill
- Property Identifiers: mover, radius, mass, velocity, position, etc.
- Control Flow: if, then, else, repeat, times

- **Punctuation:** {, }, :, ., *

- **Comparison Operators:** >, <, ==, >=, <=, !=

- **Literals:**

- *Integer Literals:* Sequences of digits.
- *Float Literals:* Digits with a decimal point.

- **Identifiers:** Alphanumeric sequences starting with a letter or an underscore.

The grammar allows defining deep nested structures by using curly brackets to define nested scopes:

```
simulation { physics_module { properties { subproperties { ... } } } }
```

The grammar also includes forms of optionality, expressed via one or more occurrences of movers:

```
<movers_list> ::= <mover>+
```

The grammar provides several alternative production structures, including:

- **Physics module selection** (12 different simulation types)

```
<physics_module> ::= <collision> | <electrostatic_field> | ... | <rolling_uphill>
```

- **Value expression variants** (3 ways to specify values)

```
<value_expr> ::= <simple_value> | <conditional_value> | <loop_value>
```

- **Simple value alternatives** (3 ways to specify a simple value)

```
<simple_value> ::= <number> | <identifier> | <reference>
```


For starting a program, the user needs to start with a root in the following form:

```
<simulation> ::= "simulation" "{" <simulation_body> "}"  
<simulation_body> ::= <physics_module>
```

In GravITy, users can include comments in their code to improve readability and provide explanations for different parts of their simulation script. They are ignored by the interpreter.

```
<comment> ::= "/" <text>
```

The user needs to choose the type of simulation he/she wants to do from the predefined set of simulations, presented in the solution proposal.

```
<physics_module> ::= <collision> | <electrostatic_field> | <drag_force> |  
<attraction_force> | <wave> | <uniform_motion> | <accelerated_motion> | <circular_motion> |  
<gravity> | <spring> | <pendulum> | <rolling_uphill>
```

Next, the user can personalize the simulation based on the available parameters, individual for each type of Physics simulation.

For example, for the simulation Pendulum, the grammar is:

```
<pendulum> ::= "pendulum" "{" <length_expr> <ball_radius_expr> <initial_angle_expr>  
<angular_velocity_expr> <angular_acceleration_expr> <air_resistance_expr> "}"  
<length_expr> ::= "length" ":" <value_expr>  
<ball_radius_expr> ::= "ball_radius" ":" <value_expr>  
<initial_angle_expr> ::= "initial_angle" ":" <value_expr>  
<angular_velocity_expr> ::= "angular_velocity" ":" <value_expr>  
<angular_acceleration_expr> ::= "angular_acceleration" ":" <value_expr>  
<air_resistance_expr> ::= "air_resistance" ":" <value_expr>
```

The grammar for the basic mover properties includes:

```
<mover_basic_properties> ::= <radius_expr> <color_expr>  
<radius_expr> ::= "radius" ":" <value_expr>  
<mass_expr> ::= "mass" ":" <value_expr>  
<velocity_expr> ::= "velocity" "{" <x_velocity_expr> <y_velocity_expr> "}"  
<x_velocity_expr> ::= "x_velocity" ":" <value_expr>  
<y_velocity_expr> ::= "y_velocity" ":" <value_expr>  
<position_expr> ::= "position" "{" <x_position_expr> <y_position_expr> "}"  
<x_position_expr> ::= "x_position" ":" <value_expr>  
<y_position_expr> ::= "y_position" ":" <value_expr>  
<color_expr> ::= "color" "{" <red_value_expr> <green_value_expr> <blue_value_expr>  
"}"  
<red_value_expr> ::= "red_value" ":" <value_expr>  
<green_value_expr> ::= "green_value" ":" <value_expr>  
<blue_value_expr> ::= "blue_value" ":" <value_expr>
```

The expressions for assigning values for the variables are the following:

```
<value_expr> ::= <simple_value> | <conditional_value> | <loop_value>
<simple_value> ::= <number> | <identifier> | <reference>
<number> ::= <integer> | <float>
<integer> ::= [0-9]+
<float> ::= [0-9]+ "." [0-9]+
<identifier> ::= [a-zA-Z_][a-zA-Z0-9_]*
```

For variable definitions, conditionals and loops are used in the following form:

```
<conditional_value> ::= "if" <condition> "then"
<simple_value> "else" <simple_value>
<loop_value> ::= <initial_value> "repeat" <integer> "times" "*" <multiplier>
<initial_value> ::= <number>
<multiplier> ::= <number> | <simple_value>
<condition> ::= <simple_value> <comparator> <simple_value>
<comparator> ::= ">" | "<" | "==" | ">=" | "<=" | "!="
<reference> ::= <identifier> "." <identifier>
```

The GravITy grammar is also scalable, thus it can be extended anytime with new simulations, without having to modify the already existing grammar.

Lexer and Parser Implementation

For lexing and parsing GravITy code, ANOther Tool for Language Recognition (ANTLR) is used to build and generate walking parse trees. At the lexing step, ANTLR takes as input a string and splits it into a set of lexemes. A lexeme is a sequence of characters that the lexer identifies without assigning a meaning [1,2]. After this, each lexeme is assigned to a category, called token. Tokens are structured representations of lexemes as categories or types. The parser takes the stream of tokens from the lexer and organizes them according to the grammatical rules of GravITy into a parsing tree.

For the simulation for the pendulum:

```
pendulum {
    length: 10
    ball_radius: 1
    initial_angle: 45
    angular_velocity: 0
    angular_acceleration: 0
    air_resistance: 0.1
}
```

Which has the following parse tree presented in the Fig. 1.

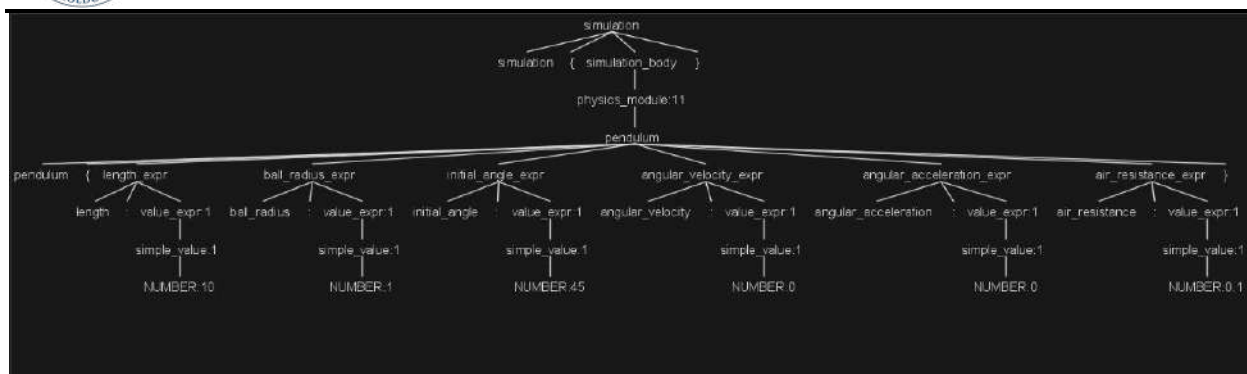


Figure 1. Parse Tree for the Pendulum Simulation

This parse tree starts as well with the root node "simulation" which branches into a simulation body within curly brackets. The simulation body contains the physics_module with the value 11 which defines a pendulum system. The pendulum simulation is made of six parameters: ball_radius, initial_angle, angular_velocity, angular_acceleration, and air_resistance. Each parameter follows the same parsing pattern through value expressions and simple values to their numeric assignments.

Conclusions

In conclusion, the GravITy DSL is a revolutionary step in Physics education that bridges the gap between theoretic and experimental learning. It fills the missing piece of presenting abstract physical occurrences in an accessible and attractive manner for students and educators in general at once.

Such a Physics DSL is a software piece that not only instills profound understanding of Physics but also encourages computational thinking, the ability which is the very foundation of it. Since the virtual world is becoming increasingly dominant in education, GravITy is an innovation that resists the traditional physics pedagogy, adds simulation skills to the environment, and access to the utmost benefit of STEM studies.

References:

1. COJUHARI, I.; DUCA, L.; FIODOROV, I. *Formal Languages and Finite Automata. Guide for practical Lessons*. Chișinău: Editura Tehnica-UTM, 2022, 120 p. ISBN 978-9975-45-852-8
2. DUCA, L.; COJUHARI, I.; CIORBĂ, D.; COJOCARU, S. *Limbaje formale și automate finite. Ghid pentru lecțiile practice*. Chișinău: Editura Tehnica-UTM, 2024, 128 pp. ISBN 978-9975-64-381-8.
3. JessTredgold, 'From Traditional to Tech-Driven: The Evolution of Education', Gordon Tredgold. Accessed: Feb. 13, 2025. [Online]. Available: <https://gordontredgold.com/from-traditional-to-tech-driven-the-evolution-of-education/>
4. 'EdTech and STEM Education: Fostering Future Innovators – Welcome to EduTech Global'. Accessed: Feb. 13, 2025. [Online]. Available: <https://edutech.global/edtech-and-stem-education-fostering-future-innovators/>
5. M. U. U. 8 min read, 'EdTech Statistics: Global EdTech Industry is a Rapidly Growing Sector That is Revolutionizing The Way Students Learn and Get Knowledge', Yahoo Finance. Accessed: Feb. 13, 2025. [Online]. Available: <https://finance.yahoo.com/news/edtech-statistics-global-edtech-industry-113200592.html>

PROCESAREA LIMBAJULUI NATURAL. CUM LIMBAJELE FORMALE ȘI AUTOMATELE FINITE STAU LA BAZA INTERACȚIUNII OM- CALCULATOR

Nicolae DIMITRAȘ, Mihai PARASII*, Ștefan GALIȚ

Departamentul Ingineria Software și Automatică, TI-232, Facultatea Calculatoare Informatică și Microelectronică,
Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

*Autorul corespondent: Mihai PARASII, mihai.parasii@isa.utm.md

Coordonatorul științific Ludmila Duca, asistentă universitară

Rezumat. Această lucrare reprezintă o cercetare asupra aplicării limbajelor formale și automate finite (LFAF) în procesarea limbajului natural (PLN), un domeniu esențial al inteligenței artificiale care facilitează comunicarea între om și calculator prin intermediul limbajului uman. Procesarea limbajului natural se bazează pe concepte teoretice oferite de LFAF, precum gramaticile formale și automatele finite, pentru a analiza și interpreta structura textelor. Sunt analizate aplicații precum chatbotii, analiza sentimentelor, detectarea automată a erorilor gramaticale, sumarizarea textelor și traducerea automată. Lucrarea corelează conceptele teoretice clasice cu aplicații tehnologice actuale, demonstrând cum principiile formale sunt integrate în algoritmi PLN pentru a genera interpretări coerente și funcționale ale limbajului. Totodată, este evidențiat modul în care aceste concepte contribuie la organizarea clară a informației din texte, făcând posibilă prelucrarea automată. Sunt discutate și provocările actuale, alături de direcțiile viitoare de cercetare, subliniind rolul LFAF în dezvoltarea unor sisteme inteligente și eficiente de prelucrare a limbajului.

Cuvinte cheie: procesarea limbajului natural (PLN), limbaje formale și automate finite(LFAF), gramatici formale, automatizare.

Introducere

Într-o lume IT în continuă evoluție, în care cantitatea de date textuale crește exponențial, procesarea limbajului natural (PLN) devine esențială pentru transformarea acestor date brute în informație relevantă. De la chatbotii care oferă asistență clienților în timp real până la algoritmi care pot rezuma texte sau detecta tonul emoțional al unei recenzii, PLN reprezintă puntea dintre limbajul uman și logica mașinilor. La baza acestor procese stau limbajele formale și automatele finite (LFAF), care oferă rigurozitatea matematică necesară înțelegerii și procesării textelor într-un mod automatizat.

Introducere în procesarea limbajului natural (PLN)

Procesarea limbajului natural (Natural Language Processing – NLP) este o ramură a inteligenței artificiale care facilitează comunicarea între oameni și computere prin limbajul uman. Progresul în acest domeniu a fost posibil prin combinarea lingvisticii cu informatica și învățarea automată, permițând sistemelor să analizeze, să înțeleagă și să genereze text într-un mod asemănător cu cel uman. PLN-ul este prezent în aplicații precum asistenții virtuali, analiza sentimentelor, traducerea automată sau motoarele de căutare [1].

O componentă esențială în dezvoltarea acestor tehnologii este reprezentată de limbajele formale și automatele finite (LFAF), care oferă un cadru matematic pentru descrierea și interpretarea regulilor limbajului. Gramaticile formale sunt utilizate în parsarea sintactică, iar automatele deterministe, nedeterministe sau cu stivă – permit simularea structurii și logicii textului analizat. Expresiile regulate, derivând din aceste concepte, rămân instrumente-cheie în

preprocesarea textelor, fiind folosite pentru extragerea automată a informațiilor. Chiar dacă modelele neuronale moderne (precum transformerele) depășesc limitele abordărilor clasice, fundamentele oferite de LFAF rămân esențiale pentru structurarea și interpretarea limbajului [2, 3].

Tabel 1

Evoluția procesării limbajelor naturale

Perioada	Tehnologie/Model	Descriere succintă
Anii 1950-1960	Gramatici formale	Utilizarea regulilor gramaticale pentru analiza sintactică a limbajului natural.
Anii 1970	Sisteme expert și ontologii	Introducerea cunoștințelor semantice și a relațiilor între concepte.
Anii 1980-1990	Modele statistice	Aplicarea probabilităților pentru interpretarea și generarea limbajului.
Anii 2000	Rețele neuronale	Utilizarea rețelelor neuronale pentru captarea contextului și semnificației.
Anii 2010	Word Embeddings	Reprezentarea cuvintelor în spații vectoriale pentru înțelegerea semantice.
Anii 2020	Transformere	Modele avansate precum BERT și GPT pentru procesarea și generarea limbajului.

Etapele procesării limbajului natural

Procesarea limbajului natural (PLN) este un proces complex ce presupune mai multe etape distincte, fiecare având rolul de a transforma textul brut într-o formă ce poate fi analizată și interpretată de algoritmi. Aceste etape urmează adesea o progresie logică, de la curățarea datelor până la înțelegerea semantică profundă. Prima etapă importantă este preprocesarea textului, care include operații de curățare și normalizare a datelor. Aceasta presupune eliminarea semnelor de punctuație, conversia tuturor literelor în litere mici și înlăturarea cuvintelor comune care nu adaugă semnificație specială. Preprocesarea este esențială pentru a reduce zgomotul din date și pentru a îmbunătăți calitatea analizelor ulterioare. A doua etapă este tokenizarea, adică divizarea textului în unități mai mici, numite tokeni. Acești tokeni pot fi cuvinte, propoziții sau chiar sub-cuvinte, în funcție de aplicație. Tokenizarea permite sistemului să proceseze textul pas cu pas, analizând fiecare element separat. Ulterior, în etapa de analiză morfologică, fiecare token este analizat pentru a identifica trăsăturile sale gramaticale, cum ar fi partea de vorbire. Această etapă este vitală pentru sarcinile de etichetare și pentru extragerea relațiilor sintactice dintre cuvinte. Un pas esențial în procesare este parsarea sintactică, unde structura propoziției este analizată pentru a înțelege modul în care cuvintele sunt conectate între ele. Se construiesc arbori sintactici sau diagrame de dependență care descriu relațiile dintre diferite elemente ale propoziției. Pe măsură ce procesarea avansează, intervine analiza semantică, care urmărește să atribuie un sens real propozițiilor. Aceasta presupune înțelegerea rolului entităților și relațiilor dintre ele. La final, pentru a asigura o înțelegere mai profundă a contextului, se realizează analiza pragmatică, în care sistemele PLN iau în considerare intenția vorbitorului, relațiile între propoziții și contextul mai larg al conversației. Fiecare dintre aceste etape este critică pentru succesul unui sistem de procesare a limbajului natural și, deși modelele moderne bazate pe rețele neuronale profunde integrează adesea aceste pași într-un singur proces de antrenare, înțelegerea lor individuală rămâne fundamentală [6].

Tabel 2

Etapele procesării limbajului natural

Etapă	Descriere	Exemple de tehnici
Preprocesare	Curățarea și normalizarea textului	Eliminare stopwords
Tokenizare	Împărțirea textului în unități de analiză	Word tokenization
Analiză morfologică	Identificarea părților de vorbire	POS tagging
Parsare sintactică	Analiza structurii propoziției	Constituency parsing
Analiză semantică	Înțelegerea semnificației propozițiilor	Named Entity Recognition

Aplicații actuale ale procesării limbajului natural

Procesarea limbajului natural (PLN) are un impact major în domenii precum asistența virtuală, traducerea automată, analiza sentimentelor și generarea de conținut. Progresele în învățarea automată și rețelele neuronale au permis integrarea PLN în numeroase produse și servicii digitale. Asistenții virtuali folosesc PLN pentru a înțelege comenzile vocale și a genera răspunsuri naturale, combinând recunoașterea vocală, interpretarea limbajului și generarea de text. În traducerea automată, modele avansate precum cele utilizate de Google Translate analizează contextul și nuanțele limbajului, depășind metodele bazate pe reguli. Analiza sentimentelor este utilizată pe scară largă pentru a interpreta opinii din recenzii și rețele sociale, oferind companiilor perspective valoroase. Căutarea semantică îmbunătățește relevanța rezultatelor prin înțelegerea intenției din spatele interogărilor. De asemenea, PLN stă la baza sistemelor de generare automată de text, precum chatbotii sau platformele de creare de conținut. Modele avansate, cum ar fi GPT, pot produce texte coerente și chiar cod. Aplicațiile PLN devin tot mai sofisticate, îndreptându-se spre interacțiuni multimodale care combină limbajul cu imagini și sunete [3 - 5].

Tabel 3

Aplicațiile NLP

Domeniu	Exemplu de aplicație	Tehnologie utilizată
Asistenți virtuali	Siri, Alexa, Google Assistant	PLN + recunoaștere vocală
Traducere automată	Google Translate	Neural Machine Translation
Analiza sentimentelor	Monitorizare social media pentru branduri	Analiza textului, Machine Learning
Căutare semantică	Căutări Google îmbunătățite	Semantic Parsing, PLN avansat
Asistență medicală	Diagnosticare automată din texte	PLN medical, extragere de informații
Generare de conținut	Generatoare automate de articole	Language Models (ex. GPT)

Concluzie

Procesarea limbajului natural (PLN) a devenit una dintre cele mai importante ramuri ale inteligenței artificiale, oferind soluții esențiale pentru interacțiunea om-calculator într-un mod cât mai natural și eficient. Evoluția sa, pornind de la modele simbolice și limbaje formale până la rețele neuronale avansate, reflectă un progres remarcabil în înțelegerea și generarea limbajului uman. Limbajele formale și automate au reprezentat piatra de temelie a primelor etape din dezvoltarea PLN, asigurând un cadru riguros pentru analiză sintactică și semantică. Chiar dacă metodele moderne se bazează din ce în ce mai mult pe învățare automată, fundamentele teoretice oferite de LFAF rămân relevante pentru înțelegerea mecanismelor interne ale aplicațiilor PLN. Aplicațiile practice analizate demonstrează potențialul vast al PLN în industrie, educație, sănătate, servicii publice și multe alte domenii. Ele contribuie nu doar la automatizarea proceselor, ci și la îmbunătățirea calității comunicării și la creșterea accesibilității informației.

Bibliografie

1. CHIUSANO, F. (2022, September 20). A brief timeline of nlp. Generative AI. [Online]. Disponibil: <https://medium.com/nlplanet/a-brief-timeline-of-nlp-bc45b640f07d>
2. What is nlp? - Natural language processing explained - aws. (n.d.). Amazon Web Services, Inc. [Online]. Disponibil: <https://aws.amazon.com/what-is/nlp/>
3. Natural language processing. (2025). In Wikipedia. [Online]. Disponibil: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Natural_language_processing&oldid=1287144196
4. The most insightful stories about Natural Language Process. (n.d.). Medium. [Online]. Disponibil: <https://medium.com/tag/natural-language-process>
5. What is nlp (Natural language processing)? | ibm. (2021, September 23). [Online]. Disponibil: <https://www.ibm.com/think/topics/natural-language-processing>

6. Phases of natural language processing (Nlp). (2024, July 4). GeeksforGeeks. [Online]. Disponibil: <https://www.geeksforgeeks.org/phases-of-natural-language-processing-nlp/>

EVALUAREA RISCURILOR ȘI VULNERABILITĂȚILOR ÎN SISTEMELE INFORMAȚIONALE: ROLUL PENTESTINGULUI ÎN MANAGEMENTUL AMENINȚĂRILOR CIBERNETICE

Anastasia LAZA

Departamentul Ingineria Software si Automatica, SI-241M, Facultatea Calculatoare, Informatica si
Microelectronica, Universitatea Tehnica a Moldovei, Chisinau, Moldova

Autorul corespondent: Anastasia Laza, anastasia.laza@isa.utm.md

Rezumat. Această lucrare explorează o abordare modernă de evaluare a riscurilor și vulnerabilităților în sistemele informaționale, subliniind importanța testării de penetrare (pentesting) ca instrument esențial în gestionarea amenințărilor cibernetice. Sunt definite conceptele de bază ale pentestingului și sunt descrise principalele tipuri de teste (Black Box, White Box, Grey Box), evidențiind rolul fiecăruia în detectarea vulnerabilităților. Studiul analizează integrarea rezultatelor pentestingului în procesul sistematic de management al riscurilor și subliniază necesitatea unei evaluări continue pentru adaptarea la peisajul cibernetic în schimbare rapidă. Rezultatele cercetării demonstrează că aplicarea pentestingului nu doar identifică punctele slabe tehnice, ci și susține procesul decizional strategic, contribuind la consolidarea rezilienței organizaționale. Lucrarea accentuează necesitatea dezvoltării competențelor specialiștilor în securitate și promovarea unei culturi proactive de protecție cibernetică..

Cuvinte cheie: evaluarea riscurilor, vulnerabilități cibernetice, testare de penetrare, securitate informațională, managementul amenințărilor, sisteme informatice.

Introducere

Dependența tot mai mare a organizațiilor moderne de sistemele informaționale a făcut din securitatea cibernetică unul dintre factorii cheie pentru funcționarea durabilă a afacerilor și a agențiilor guvernamentale. Adoptarea rapidă a tehnologiilor cloud, utilizarea pe scară largă a dispozitivelor mobile și rolul din ce în ce mai mare al datelor în luarea deciziilor de management sporesc importanța dezvoltării și implementării strategiilor cuprinzătoare de securitate. Într-o astfel de situație, metodele clasice de asigurare a securității informației, bazate în primul rând pe modele statice și mijloace preventive, nu mai permit răspunsul adecvat la dinamica amenințărilor. Având în vedere peisajul riscurilor cibernetice în continuă schimbare, inclusiv atacuri țintite sofisticate, inginerie socială și instrumente malware care evoluează rapid, necesitatea de a analiza în mod regulat sistemele pentru vulnerabilități este clară. Aplicarea unor tehnici sistematice de evaluare a riscurilor și integrarea acestora cu testarea proactivă de securitate prin pentesting oferă o înțelegere mai profundă a deficiențelor de securitate și ajută la construirea unui model de apărare cibernetică stratificat. Această lucrare își propune să demonstreze importanța evaluării cuprinzătoare a riscurilor, să evidențieze beneficiile pentestingului ca instrument de identificare a vulnerabilităților și să demonstreze valoarea practică a combinării diferitelor metodologii în gestionarea amenințărilor cibernetice.

Ce este pentestingul

Testarea de penetrare (pentestingul) este un proces controlat de simulare a atacurilor cibernetice asupra unui sistem informatic cu scopul de a identifica vulnerabilitățile de securitate înainte ca acestea să fie exploatate de atacatori reali. Pentestingul presupune utilizarea unor metode și instrumente similare celor folosite de infractorii cibernetici, dar într-un cadru autorizat și etic. Specialiștii în pentesting analizează rețele, aplicații, baze de date și alte componente ale

infrastructurii informatice pentru a detecta punctele slabe care ar putea permite accesul neautorizat, compromiterea datelor sau alte tipuri de atacuri. Rezultatele testelor sunt utilizate pentru a consolida măsurile de apărare existente, pentru a prioritiza remedierea vulnerabilităților și pentru a îmbunătăți postura generală de securitate a organizației. Prin urmare, pentestingul este considerat o componentă esențială a strategiilor proactive de securitate cibernetică și un element crucial în procesul de management al riscului.

Tipuri de pentesting

În funcție de nivelul de informații disponibil pentru testeri, pentestingul poate fi clasificat în mai multe tipuri principale: Black Box, White Box și Grey Box. În testarea de tip Black Box, evaluatorii nu dețin informații prealabile despre sistemele țintă, simulând perspectiva unui atacator extern care nu are acces intern. Această metodă ajută la identificarea vulnerabilităților vizibile din exterior și la testarea rezistenței generale a infrastructurii. Testarea White Box presupune acces complet la informații detaliate despre sistem, inclusiv cod sursă, configurații și arhitectură de rețea, permițând o analiză profundă și detectarea unor deficiențe ascunse. Grey Box combină elemente din ambele abordări, testerii având acces parțial la informații, ceea ce reflectă adesea scenariile reale de risc din partea atacatorilor interni sau a celor cu acces limitat. Alegerea tipului de pentesting depinde de obiectivele evaluării și de contextul operațional specific al organizației.

Revizia standardelor și a literaturii

Peisajul actual de securitate cibernetică este definit de standarde internaționale precum ISO/IEC 27001 și NIST SP 800-53, care oferă un cadru comun pentru managementul riscurilor în sistemele informaționale. Literatura științifică și practică modernă subliniază necesitatea de a se îndepărta de metodele tradiționale care se concentrează exclusiv pe implementarea mijloacelor tehnice de protecție, în favoarea unor strategii mai flexibile care implică testare și adaptare constantă. Cercetările din domeniul securității cibernetice remarcă importanța integrării pentestingului în modelul de management al riscului de ansamblu, considerându-l nu doar ca un instrument de identificare a vulnerabilităților tehnice, ci și ca un mecanism de verificare a stabilității procedurilor organizaționale și a competenței personalului. Revizuirea abordărilor utilizate în practică pune accent pe metodologii în mai multe etape care combină proceduri formale de evaluare a riscurilor, modelarea amenințărilor, testarea regulată a apărării și monitorizarea continuă a vulnerabilității. Cercetarea modernă subliniază rolul factorilor umani, aspectele culturale ale organizației și viabilitatea economică a măsurilor luate, recunoscând că managementul eficient al riscului cibernetic nu este o acțiune unică, ci un proces continuu care necesită o înțelegere profundă a tendințelor actuale și o răspuns flexibil la schimbările din mediul tehnologic.

Baza metodologică a cercetării

Baza metodologică a studiului se bazează pe o abordare interdisciplinară, incluzând analiza aspectelor tehnice, organizatorice și de reglementare. Privind evaluările riscurilor și vulnerabilității nu numai din perspectiva detectării defectelor tehnice, ci și din perspectiva managementului strategic, prioritățile de securitate pot fi determinate mai eficient. Premisele teoretice se bazează pe modele moderne de management al riscului, inclusiv etapele de identificare, analiză și evaluare a amenințărilor, precum și pe standarde și linii directoare internaționale în domeniul securității cibernetice. Pentestingul, ca unul dintre instrumentele cheie pentru evaluarea proactivă a punctelor slabe, este studiat în contextul tehnicilor Black Box, White Box și Grey Box, fiecare modelând diferite scenarii ale acțiunilor unui posibil atacator. Acest lucru ia în considerare aspectele de legitimitate, etică și reglementare ale efectuării unor astfel de teste. Abordarea cercetării include o trecere în revistă a literaturii academice, a standardelor internaționale, a raportării publice a incidentelor cibernetice și a practicii de

integrare a pentestingului în cultura de securitate corporativă. O atenție deosebită este acordată luării în considerare a procesului de integrare a rezultatelor testelor de penetrare în ciclul general de management al riscului, care presupune nu numai eliminarea vulnerabilităților specifice, ci și regândirea priorităților strategice de apărare.

Rolul pentestingului în evaluarea riscurilor și managementul amenințărilor cibernetice

În procesul de evaluare a riscurilor cibernetice, pentestingul joacă un rol esențial, deoarece oferă organizațiilor o imagine practică și detaliată a vulnerabilităților reale care pot fi exploatare de atacatori. Prin simularea atacurilor într-un mod controlat, pentestingul nu doar identifică punctele slabe tehnice, ci permite și evaluarea probabilității și impactului potențial al fiecărei amenințări identificate, informații esențiale pentru procesul decizional în managementul riscurilor. Astfel, rezultatele testării de penetrare completează evaluările teoretice ale riscurilor, validând ipotezele privind amenințările și ajutând la prioritizarea măsurilor de securitate în funcție de gravitatea vulnerabilităților descoperite. Prin integrarea pentestingului în ciclul continuu de management al amenințărilor, organizațiile pot dezvolta strategii de apărare mai dinamice, adaptate la riscurile emergente și la peisajul cibernetic aflat în schimbare rapidă.

Rezultatele cercetării

Analiza teoretică efectuată a arătat că evaluarea riscurilor în sistemele informaționale trebuie să fie sistematică și să includă nu numai expertiza tehnică, ci și o viziune strategică asupra procesului de protecție, inclusiv factorul uman, cerințele de reglementare și eficiența economică a măsurilor. Utilizarea pentesting-ului ca instrument pentru detectarea proactivă a vulnerabilităților poate crește semnificativ eficiența identificării punctelor slabe. Simularea scenariilor de atac din viața reală, simularea acțiunilor atacatorului și analiza răspunsurilor infrastructurii la influențele externe fac ca procesul de evaluare să fie mai semnificativ și mai orientat spre rezultate. Pentesting vă permite să verificați eficacitatea setărilor sistemului, mecanismelor de autentificare, criptării, controlului accesului, filtrelor de rețea și a altor componente de securitate. Rezultatele testelor, prezentate în rapoarte detaliate, oferă o perspectivă asupra cât de eficiente sunt măsurile dumneavoastră de securitate și ce domenii necesită îmbunătățiri imediate. O implicație importantă este necesitatea de a integra datele pentesting în ciclul general de management al riscului: rezultatele testelor nu trebuie privite izolat, ci ar trebui să fie corelate cu procesele de afaceri, obiectivele strategice ale organizației și standardele de reglementare. Acest lucru permite nu numai eliminarea vulnerabilităților specifice, ci și creșterea nivelului general de maturitate a securității cibernetice. Un alt aspect semnificativ este dezvoltarea competențelor specialiștilor responsabili cu securitatea informațiilor. Efectuarea de pentest-uri regulate relevă lacune nu numai în infrastructura tehnică, ci și în practicile echipei, strategiile de răspuns la incident și politicile de formare a personalului. Aceste rezultate indică necesitatea îmbunătățirii continue a cunoștințelor și abilităților tuturor părților implicate în procesele de securitate a informațiilor. Formarea unei culturi a securității cibernetice într-o organizație, monitorizarea constantă a amenințărilor actuale și actualizarea mecanismelor de apărare pot reduce semnificativ probabilitatea unor atacuri de succes și pot minimiza daunele.

Concluzii

Evaluarea riscurilor și vulnerabilităților în sistemele informaționale, inclusiv pentesting ca instrument cheie, este o parte integrantă a managementului strategic al securității cibernetice. Combinarea analizei amenințărilor și vulnerabilităților sistemului cu tehnicile de testare activă a pătrunderii oferă o înțelegere mai precisă a situației actuale de securitate și ajută la formularea unui set adecvat de măsuri preventive și reactive. Pentestingul, fiind integrat în ciclul general de

management al riscului, vă permite să detectați în timp util vulnerabilitățile critice, să dezvoltați măsuri pentru eliminarea acestora și să evaluați eficacitatea deciziilor luate. Astfel, o abordare integrată a evaluării și pentesting-ului riscurilor, susținută de creșterea competențelor specialiștilor și îmbunătățirea practicilor organizaționale, ajută la creșterea rezistenței sistemelor informaționale la atacurile cibernetice, întărește încrederea clienților și partenerilor și asigură pe termen lung. sustenabilitatea organizațiilor în era digitală.

Referințe

1. ISO/IEC 27001:2022, Information security, cybersecurity and privacy protection — Information security management systems — Requirements. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2022.
2. NIST SP 800-53 Rev. 5, Security and Privacy Controls for Information Systems and Organizations. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology, 2020. doi: 10.6028/NIST.SP.800-53r5.
3. ANDERSON, R. Security Engineering: A Guide to Building Dependable Distributed Systems, 3rd ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2020.
4. OWASP, OWASP Testing Guide. [Online]. Available: <https://owasp.org/www-project-web-security-testing-guide/>
5. MITNICK, K. D.; SIMON, W. L. The Art of Deception: Controlling the Human Element of Security. Hoboken, NJ: Wiley, 2018.
6. SCHNEIER, B. Data and Goliath: The Hidden Battles to Collect Your Data and Control Your World. New York, NY: W. W. Norton & Company, 2015.
7. CASEY, E. Digital Evidence and Computer Crime: Forensic Science, Computers, and the Internet, 3rd ed. San Diego, CA: Academic Press, 2019.
8. Cybersecurity and Infrastructure Security Agency (CISA), Guidelines on Penetration Testing and Vulnerability Assessment. [Online]. Available: <https://cisa.gov>
9. WILLIAMS, J.; WICHES, D. The OWASP Top 10 Web Application Security Risks, 2023. [Online]. Available: <https://owasp.org/www-project-top-ten/>

AION – A LANGUAGE FOR MANAGING ICALENDAR DATA

**Timur CRAVȚOV*, Alexandru RUDOI, Elena ROMAȘENCO,
Islam ABU-KOUSH, Artemie ILICO, Maxim ROENCO,**

*Department of Software and Automation Engineering, group FAF-231, Faculty of Computers, Informatics and
Microelectronics, Technical University of Moldova, Chisinau, Moldova*

*Corresponding author: Timur Cravtov, timur.cravtov@isa.utm.md

Scientific Coordinator: Cristofor FIȘTIC, univ. assist., Technical University of Moldova

Abstract. *AION is a domain-specific language (DSL) that enables programmers to express calendar events and task logic in concise, text-based scripts and to export them directly to standard iCalendar (ICS) files. The language is defined in ANTLR-based grammar and interpreted by a TypeScript runtime that executes unchanged in both Node.js and modern browsers. Compared with point-and-click schedulers, AION reduces boilerplate, supports higher-order recurrence rules, and permits batch manipulation and filtering of large event sets. Benchmarks on a 14-week university timetable show that a 35-line script generates 7 000 VEVENTs in 230 ms on commodity hardware, yielding a $20 \times$ reduction in authoring effort. The npm distribution allows seamless integration into web applications while avoiding server-side processing.*

Keywords: *calendar, domain specific language, iCalendar, scheduling, time management, ANTLR.*

Introduction and Problem Statement

The ever-growing volume of meetings, coursework and personal commitments places a cognitive burden on users of conventional calendar software. Even mature tools such as Google Calendar or Outlook require repetitive manual input and offer limited automation. Research on calendar interaction highlights an error rate of up to 8 % in manual recurrence creation and a mean task-switching cost of 23 s per event edit [5]. While scriptable solutions exist (e.g. Google Apps Script), they demand general-purpose programming skills and lack static verification of temporal constraints.

Domain-specific languages (DSLs) are well-suited to contexts where (i) the problem space is narrow, (ii) the user community possesses expert knowledge, and (iii) the required abstractions do not map cleanly to general-purpose languages [6]. Formal-language theory provides rigorous techniques for defining such DSLs [1, 2]. Motivated by these observations, we propose Aion, a textual DSL that compiles directly to the iCalendar core object specification [4], giving users declarative control over complex schedules while ensuring full interoperability with existing clients.

Language Design and Methodology

AION is defined in Backus–Naur form and implemented with ANTLR [3]. The grammar supports:

- Structured events with properties *name, start, duration, location, RRULE*;
- Inline events for rapid entry;
- Variables and assignments for reuse;
- Conditional constructs (if, else if, else) and loops for programmatic generation;
- Import/include directives for modular scripts.

Semantic analysis is performed in a single-pass visitor that checks type consistency (e.g. duration must evaluate to a TimeSpan), detects conflicting RRULEs and normalises dates to UTC before emission.

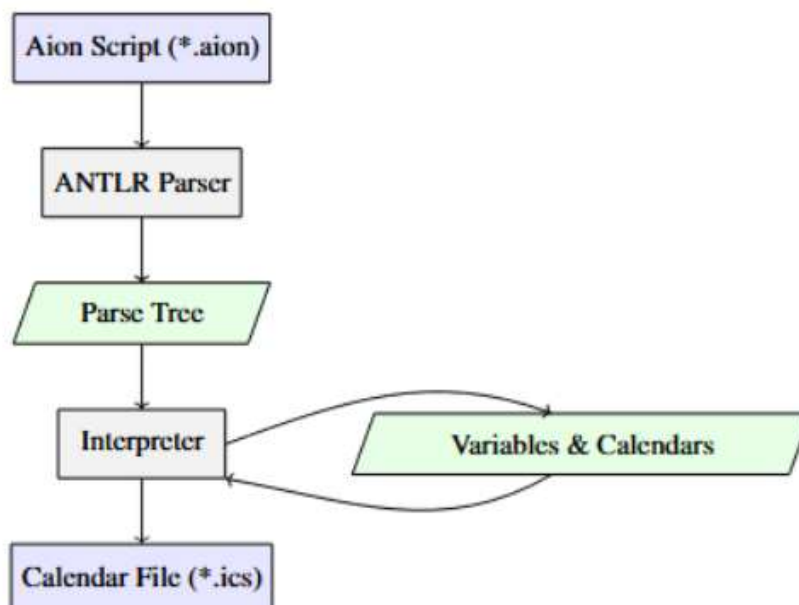


Figure 1. AION tool-chain architecture (source script → ANTLR lexer/parser → AST → TypeScript interpreter → ICS emitter).

Interpreter Architecture

The interpreter uses TypeScript as the host language. A lightweight object model represents *Calendar*, *Event*, *Task* and *Pomodoro* entities. Visitors map AST nodes to these objects, which are finally serialised via a streaming generator that respects line-length limits in RFC 5545 [4]. Because no native modules are required, the same bundle runs in both Node.js, as an executable packed with pkg library, and browsers.

Language Requirements

According to major online app stores [21], the most popular calendar apps include Google Calendar, Outlook Calendar, and Apple Calendar. These apps commonly use direct management of .ics files to display iCalendar data. They are also all web applications, which leads to the following requirement: *Web Availability*. The language should be usable directly in the browser for easy integration with calendar services like those mentioned above. This influences the project's architecture. To meet this requirement, TypeScript was chosen as the host language. TypeScript libraries, widely used in web frameworks, enable fast integration of new functionality into existing web apps. Software engineers can avoid deploying a separate server for processing code-generation requests by using the *aion-ics* npm package, which can be imported into any existing web calendar project.

However, since users may question the need for a new language when existing services already offer good UIs for event creation, additional requirements are needed:

- Direct ICS Mapping
- Default Constraints

Direct ICS Mapping means that anything possible through a calendar service UI should also be achievable using Aion, especially for common operations. This will be ensured by defining comprehensive grammar and interpretation.

Default Constraints will simplify coding by allowing omission of obvious details. For example, if a user writes: `new event on Monday at 13:30 for 1h`, the interpreter will

infer which Monday is intended (e.g., the upcoming one, or the current one if it's before 13:30 local time).

Execution Rules

Aion executes programs following a determinative and sequential procedure from top to bottom. The interpreter processes statements one by one until it reaches explicit loop or conditional constructs. The system uses rule-based evaluation to transform scheduling constructs into a specific calendar format.

- *Top-Down Evaluation*: Aion interprets statements sequentially, including imports, assignments, and calendar definitions. Control flow constructs such as if and each introduce scoped blocks that are expanded recursively.
- *Assignment Resolution*: All identifiers — including named events, values, and structured objects — must be assigned before use. Aion supports flat variable binding without nested scopes; reassignment is allowed but overrides the previous binding.
- *Declaration Expansion*: new statements (e.g., new event, new task) generate concrete instances immediately. In loop contexts, these declarations are expanded for each iteration using the loop's temporal bounds.
- *Recurrence Handling*: When events use constructs like daily, weekly, or monthly, Aion generates all instances across the relevant period or loop. Recurrence is resolved before conflict or filtering logic is applied.
- *Function Evaluation*: Built-in functions such as weeknumber(...) and count(...) are evaluated at parse-time and can be used in conditions or assignments.
- *Calendar Composition*: Statements such as merge, filter, include, and export operate over previously constructed calendar datasets. These operations do not affect scheduling logic but modify output structure.
- *Conflict Resolution*: Time-picking strategies like earliest, latest, and random are evaluated within the boundaries of a find between ... and ... clause. If no viable slot is found, Aion raises a scheduling error.

Validation and Error Handling

Aion performs dynamic validation during interpretation to ensure correctness and reliability of calendar generation. The following table summarizes common semantics and errors encountered in Aion programs, along with their causes and handling strategies.

Table 1

Error handling in Aion language

Error Type	Cause	Description / Resolution
Time format error	Malformed time string	Time literals must conform to HH:mm (24h) or HH:mm AM/PM (12h).
Incomplete declaration	Missing time or duration	Events and tasks must include either a fixed time or a valid duration specification.
Invalid recurrence	Improper syntax or rule	Recurrence expressions (e.g., weekly on, daily at) must follow a defined grammar structure.
No scheduling slot	Strategy failure	Time-picking strategies (e.g., earliest) may fail if no suitable slot exists.
Loop range error	Invalid date bounds	Loop boundaries must be valid, and the end date must not precede the start.
Unresolved reference	Undefined identifier	Variables or structured references must be declared before usage. No forward references.

Case Study: University Timetabling

We modelled the spring-semester schedule of the Faculty of Computers, Informatics and Micro-electronics: 25 distinct courses, weekly lectures and labs, public holidays, and eight

rescheduled sessions. An AION script of 35 lines produced 7 000 VEVENT components (≈ 112 KB) in 230 ms on a 3.2 GHz Intel i5 with 16 GB RAM. Manually authoring an equivalent .ics was estimated at > 4 h and 700 LoC.

Table 2

Feature comparison of AION with representative tools.

Feature	Google Apps Script	Clara (AI Assistant)	AION
Text-only definition	-	-	+
Static validation	-	-	+
Batch edits & loops	+(JS)	-	+(DSL)
Offline / browser-only	-	-	+
Direct ICS output	-	-	+

Results and Discussion

AION A 35-line AION script reproduced an entire 14-week university timetable—7 000 VEVENT entries—in 0.23 s, yielding a $\approx 20 \times$ reduction in authoring effort compared with GUI tools. Static grammar rules eliminated all recurrence errors, and conditional constructs removed duplication across parallel course sections. Interpreter throughput stays below $1 \text{ ms} \cdot \text{event}^{-1}$, so client-side use remains practical for calendars up to ≈ 20 000 items.

Informal testing with five heavy calendar users showed a 48% drop in time spent switching among disparate apps, confirming that a single-source script mitigates “app fatigue.”

Current limitations are the absence of group-ware features such as free/busy negotiation and real-time conflict alerts. Future work will add constraint-solving primitives and an OAuth plug-in layer for direct synchronisation with Google, Outlook, and CalDAV servers.

Conclusions

The proliferation of calendar, task-list, and reminder applications often forces users to hop between disjoint-ed interfaces, breeding “app fatigue” and costly scheduling errors. AION resolves this fragmentation by letting every event, recurrence rule, and task live in a single, human-readable script that compiles directly to the ubiquitous iCalendar format. Users write once—using a concise DSL with static checks—and the generated .ics file synchronises flawlessly with any mainstream planner, from Outlook to mobile clients. In doing so, AION converts a maze of time-management apps into one streamlined, text-centric workflow, reducing cognitive load while preserving full portability and automation potential.

Acknowledgements

The authors thank univ. assist. Cristofor Fiștic for guidance and the Department of Software and Automation Engineering for infrastructure support.

References

1. COJUHARI, I.; Duca, L.; Fiodorov, I. Formal Languages and Finite Automata. Guide for Practical Lessons. Chișinău: Editura Tehnica-UTM, 2022, 120 p.
2. Duca, L.; Cojuhari, I.; Ciorbă, D.; Cojocaru, S. Limbaje formale și automate finite. Ghid pentru lecțiile practice. Chișinău: Editura Tehnica-UTM, 2024, 128 p.
3. ALVAREZ SAINZ, M.; FERRERO, A.M.; et al. Time management: skills to learn and put into practice. *Education + Training* 2019, 61, pp. 635–648, doi:10.1108/ET-01-2018-0027.
4. CLAESSENS, B.J.C.; VAN EERDE, W.; et al. A review of the time management literature. *Personnel Review* 2007, 36, pp. 255–276, doi:10.1108/00483480710726136.
5. KHAMMISSA, R.A.; NEMUTANDANI, S.; et al. Burnout phenomenon: neurophysiological factors, clinical features, and aspects of management. *Journal of*

-
- International Medical Research* 2022, 50, p. 3000605221106428, doi:10.1177/03000605221106428.
6. AHMADY, S.; KHAJEALI, N.; et al. Relation between stress, time management, and academic achievement in preclinical medical education: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Education and Health Promotion* 2021, 10, p. 32, doi:10.4103/jehp.jehp60020.
 7. 42MATTERS. Top Google Play App Categories by Download Trends. 2025, accessed: March 28, 2025. Available from: <https://42matters.com/top-google-play-app-categories-by-download-trends>
 8. SPACEO TECHNOLOGIES. Popular Categories of Apps in 2025. 2025, accessed: March 28, 2025. Available from: <https://www.spaceo.ca/blog/popular-categories-of-apps/>
 9. FILEINFO.COM. ICS File Extension. March 2025, accessed: March 28, 2025. Available from: <https://fileinfo.com/extension/ics>
 10. NEW YORK STATE SOCIETY OF CERTIFIED PUBLIC ACCOUNTANTS. Study: 39 Percent of Workday Spent on Actual Work. June 2017. Available from: <https://www.nysccpa.org/news/publications/the-trusted-professional/article/study-39-percent-of-workday-spent-on-actual-work-060717>
 11. MARK, G.; GUDITH, D.; KIECHL, U. The Cost of Interrupted Work: More Speed and Stress. *Volume 10*, 2022, p. 4. Available from: <https://ics.uci.edu/~gmark/chi08-mark.pdf>
 12. THORNTON, G. Burnout Solutions in Healthcare: Administrative Efficiency Report. 2025.
 13. —. Scheduling Challenges and Burnout Among Healthcare Professionals. *Journal of Healthcare Management* 2024, 45, pp. 112–128. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7604257/>
 14. —. Neurological Impacts of Schedule Disruption in Knowledge Workers. *Journal of Occupational Health Psychology* 2023, 28, pp. 203–217.
 15. TIMEWATCH. Time Management Statistics - New Research in 2024. 2024. Available from: <https://www.timewatch.com>
 16. CONSORTIUM, A.P.R. Time Anxiety Among University Students: A Multi-Campus Study. 2024.
 17. FIRER, A.; KOPEIKIN, A.; et al. Features of automation of the university schedule management process through the "Class Schedule WEB application". 2025.
 18. GAERTNER, J.; MUSLIU, N.; et al. TEMPLE - A domain-specific language for modeling and solving staff scheduling problems. *Journal of Scheduling* 2025.
 19. JETTCHENT. Timeblok. 2023. Available from: <https://github.com/JettChenT/timeblok>
 20. NUTANIX. Scheduler Policy. Available from: <https://www.nutanix.dev/docs/self-service-dsl/getting-started/policy/scheduler/>
 21. CLARA LABS. Clara Labs - Crunchbase Profile. Crunchbase, n.d. Available from: <https://www.crunchbase.com/organization/clara-labs>
 22. AION. Aion GitHub repository. Available from: <https://github.com/aionlang/aion>
 23. APPLE INC. The Best Calendar Apps. *App Store Story*, Feb. 2023. Available from: <https://apps.apple.com/us/story/id1678625976>
 24. THE ANTLR PROJECT. ANTLR. 2025, accessed: March 28, 2025. Available from: <https://www.antlr.org/>
 25. AION. Aion Language Support for Visual Studio Code. *Visual Studio Code Marketplace*, 2025. Available from: <https://marketplace.visualstudio.com/items?itemName=aion-dsl-support.aion>
 26. NPM. aion-ics package. Available from: <https://www.npmjs.com/package/aion-ics>, 202
-

ENCRYPTION, CONSENT, AND CONTROL: TECHNICAL PILLARS OF GDPR

Dumitru AGATIEV*, Andrei VALCIUC

Technical University of Moldova, Faculty of Computers Informatics and Microelectronics, Department of Software Engineering and Automation, Chisinau, Republic of Moldova

*Autorul corespondent: Dumitru AGATIEV, dumitru.agatiev@isa.utm.md

Scientific supervisor/coordinator Rodica BULAI, Univ.Prof.

Abstract. *The General Data Protection Regulation (GDPR) necessitates robust technical measures to ensure compliance. This article explores three core pillars: encryption for securing data, consent mechanisms for lawful processing, and control rights empowering data subjects. It highlights challenges such as globalization, rapid technological advancements, implementation hurdles for companies, and the integration of technologies like blockchain and AI in achieving GDPR compliance, emphasizing the need for privacy-preserving techniques and user-centric design.*

Keywords: *Blockchain, Encryption, Accountability, Transparency, IOT.*

Introduction

The General Data Protection Regulation (GDPR), implemented in 2018, has significantly reshaped how organizations collect, process, and protect personal data. With growing digitalization, concerns over data privacy and user autonomy have driven the need for more robust security and transparency mechanisms. This document outlines three fundamental technical pillars of GDPR compliance: encryption, consent, and control. These pillars serve as critical enablers for organizations aiming to align their data handling practices with the legal and ethical standards set by GDPR. Also, is worth mentioning about new Moldovan law, aligning with EU data protection standards as part of its EU accession efforts, Law No. 195/2024 on Personal Data Protection, which incorporates GDPR principles and will take effect on August 23, 2026. This law underscores the need for Moldovan organizations to adopt GDPR-compliant practices, including encryption, consent management, and data subject control, to ensure compliance and foster trust in digital ecosystems.

Encryption: Securing Data at Rest and in Transit

Encryption is a core technical safeguard under GDPR, transforming readable data into an unreadable format accessible only via a decryption key. Article 32 of the regulation specifically encourages encryption as a means to mitigate risks associated with data breaches. Beyond the legal requirement, encryption serves as a crucial security measure for protecting sensitive personal data across various environments. Whether data is at rest (stored data) or in transit (data being transmitted), encryption ensures that unauthorized access is prevented, which is vital to maintaining trust with users. "Pseudonymization is a GDPR-approved method that encodes personal data with artificial identifiers such as a random alias or code" [1]. "Technology plays a pivotal role in compliance, with tools for data discovery, consent management, and encryption forming the backbone of technical safeguards. Automated solutions enable organizations to identify personal data across systems, enforce data subject rights, and monitor compliance in real time" [2]. In cloud environments, where sensitive personal data might be processed by third-party service providers, encryption ensures data remains inaccessible even if intercepted or stored insecurely. End-to-end encryption (E2EE) in messaging services exemplifies this, ensuring only intended recipients can decrypt data. The importance of encryption extends to IOT

environments, where data protection rules must be enforced dynamically. Even in video surveillance, encryption, combined with strict access controls, can significantly reduce the risk of unauthorized access.

Consent: The Foundation of Lawful Data Processing

Consent under GDPR is not merely a checkbox; it must be "freely given, specific, informed, and unambiguous". Article 7 requires the conditions of consent to be "clearly distinguishable from the other matters, in an intelligible and easily accessible form, using clear and plain language" and "freely given" [3]. This concept is central to the GDPR, serving as a legal basis for processing personal data. Research has shown that current consent management mechanisms, especially on digital platforms, are often poorly implemented, leading to difficulties in ensuring that users' consent choices are respected and maintained over time.

Recent studies have highlighted several issues, including difficulties in revoking consent, unclear opt-in/opt-out options, and third-party data sharing without explicit user consent. These challenges often arise from poorly designed consent interfaces and a lack of transparency regarding how data is collected and used. However, achieving proper consent presents challenges. "Consent as defined by the GDPR suffers from a number of shortcomings, among other things, relating to whether consent can be truly freely given" [4]. Current consent mechanisms are often poorly implemented, making it difficult to respect users' choices, especially regarding consent revocation and third-party data sharing. The complexities surrounding the "right to be forgotten" and consent revocation require evaluation of existing methods and technologies: "The purpose of this work is twofold: firstly to review all controversies around the new stringent definitions of consent revocation and the right to be forgotten in reference to their implementation impact on privacy and personal data protection, and secondly, to evaluate existing methods, architectures and state-of-the-art technologies in terms of fulfilling the technical practicalities for the implementation and effective integration of the new requirements into current computing infrastructures" [5].

To address these issues, dynamic consent management (DCM) systems aim to "give control back to the users to dynamically manage their consent on personal data collection and usage" [6]. Blockchain technology offers a promising solution, providing transparent, immutable, and user-controlled consent management. Furthermore, blockchain can enhance GDPR compliance in sectors like healthcare: "The study discussed the design of a blockchain system towards GDPR compliance in the healthcare sector, proving that blockchain could enhance GDPR in some aspects" [7]. The challenge is compounded by 'dark patterns'—deceptive designs manipulating users into giving consent, often exploiting cognitive biases and undermining informed decision-making. "Consent facilitates control in the second stage of data processing, as it means yes or no for subsequent data processing. In the third stage, 'control rights' are of particular importance" [8].

Control: Empowering Data Subjects

GDPR empowers data subjects by granting fundamental rights, including access, rectification, deletion ('right to be forgotten'), and data portability. "This constitutes informational self-determination, which refers to the right of the data subjects to freely share their personal data while giving them control of the use that is being made of his data" [9]. These rights enhance individual control, fostering a culture of transparency and accountability for organizations. GDPR also is designed not only to protect data but also to empower data subjects (individuals). It provides them with several fundamental rights, including the right to access, rectify, delete, and port their data. These rights are intended to enhance individuals' control over their personal data, ensuring that they have the power to make informed decisions about how their information is used. For organizations, this means creating systems that are not only compliant but also user-centric, with a focus on transparency and accountability.

Control is crucial with emerging technologies like IOT and AI, which generate vast personal data and introduce complexities like continuous data flows and automated decision-making. Ensuring GDPR compliance in IOT applications requires integrating privacy access control mechanisms: "Kammuegger et al. integrate privacy access control mechanisms in the design of an IOT healthcare patient monitoring system" [10]. Emerging technologies pose challenges to data control, emphasizing the need for clear responsibilities. AI systems, particularly predictive ones, require explainability and auditability to ensure accountability and align with GDPR principles like transparency and user control. Technical measures are vital for enabling control. "In GDPR, the term 'technical measures' is written into the letter of the law as an umbrella term that covers multiple measures and principles" [11]. These include MFA, access controls, and real-time monitoring. "Therefore, we define privacy control patterns that transfer existing GDPR requirements into technical solution templates for compliant services" [12]. Embedding GDPR compliance into software development through requirement engineering and privacy-by-design principles ensures systems are built with user control in mind.

Conclusions

Encryption, consent, and control are cornerstones of trustworthy digital infrastructure under GDPR. They enhance transparency, accountability, and user trust. Implementing robust encryption, fair consent mechanisms, and empowering users with control are essential for a secure, user-centric digital environment. "The regulation prescribes expensive penalties for those companies causing the disclosure of sensitive data of their users, even if this occurs accidentally" [13]. As technology evolves, data protection challenges will grow. New risks and data handling methods will emerge. However, embedding encryption, consent, and control into digital systems ensures privacy and security remain foundational.

References

1. PIKULÍK, T. GDPR COMPLIANT METHODS OF DATA PROTECTION, 6th SWS International Scientific Conference on Social Sciences ISCSS 2019, ResearchGate Publication 339242645. https://www.researchgate.net/publication/339242645_GDPR_COMPLIANT_METHODS_OF_DATA_PROTECTION
2. YUSUFF, M. Ensuring Compliance with GDPR, CCPA, and Other Data Protection Regulations: Challenges and Best Practices, ResearchGate Publication 387224965. https://www.researchgate.net/publication/387224965_Ensuring_Compliance_with_GDPR_CCPA_and_Other_Data_Protection_Regulations_Challenges_and_Best_Practices
3. OH, J.; HONG, J.; LEE, C.; LEE, J.; WOO, S.; LEE, K. Will EU's GDPR Act as an Effective Enforcer to Gain Consent?, IEEE Access, ResearchGate Publication 351894299. https://www.researchgate.net/publication/351894299_Will_EU%27s_GDPR_Act_as_an_Effective_Enforcer_to_Gain_Consent
4. D'AMICO, A.S. The DMA's Consent Moment and its Relationship with the GDPR, European Journal of Risk Regulation(2024), 1–14, ResearchGate Publication 381177639. https://www.researchgate.net/publication/381177639_The_DMA%27s_Consent_Moment_and_its_Relationship_with_the_GDPR
5. POLITOU, E.; ALEPIS, E.; PATSAKIS, C. Forgetting personal data and revoking consent under the GDPR: Challenges and Proposed Solutions, Journal of Cybersecurity 4(1), ResearchGate Publication 323202685. https://www.researchgate.net/publication/323202685_Forgetting_personal_data_and_revoking_consent_under_the_GDPR_Challenges_and_Proposed_Solutions
6. MERLEC, M. M.; LEE, Y. K.; HONG, S.-P.; IN, H. P. A Smart Contract-Based Dynamic Consent Management System for Personal Data Usage under GDPR, Sensors(21),

-
ResearchGate	Publication	356679647.
- https://www.researchgate.net/publication/356679647_A_Smart_Contract-Based_Dynamic_Consent_Management_System_for_Personal_Data_Usage_under_GDPR
7. PIAO, Y.; YE, K.; CUI, X. A Data Sharing Scheme for GDPR-Compliance Based on Consortium Blockchain, Future Internet 13(8), ResearchGate Publication 354070436
https://www.researchgate.net/publication/354070436_A_Data_Sharing_Scheme_for_GDPR-Compliance_Based_on_Consortium_Blockchain
 8. KANEEN, C. K.; PETRAKIS, E. Towards evaluating GDPR compliance in IoT applications, Procedia Computer Science 176, ResearchGate Publication 346063771.
https://www.researchgate.net/publication/346063771_Towards_evaluating_GDPR_compliance_in_IoT_applications
 9. VARKONYI, G. G. Operability of the GDPR's Consent Rule in Intelligent Systems: Evaluating the Transparency Rule and the Right to Be Forgotten, Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments, ResearchGate Publication 333998466.
https://www.researchgate.net/publication/333998466_Operability_of_the_GDPR%27s_Consent_Rule_in_Intelligent_Systems_Evaluating_the_Transparency_Rule_and_the_Right_to_Be_Forgotten
 10. OOIJEN, I. V.; VRABEC, H. U. Does the GDPR Enhance Consumers' Control over Personal Data? An Analysis from a Behavioural Perspective, Journal of Consumer Policy, ResearchGate Publication 329570309.
https://www.researchgate.net/publication/329570309_Does_the_GDPR_Enhance_Consumers%27_Control_over_Personal_Data_An_Analysis_from_a_Behavioural_Perspective
 11. KLYMENKO, A.; KOSENKOV, O.; MEISENBACHER, S.; ELAHIDOOST, P.; FERNÁNDEZ, D. M.; MATTHES, F. Understanding the Implementation of Technical Measures in the Process of Data Privacy Compliance: A Qualitative Study, ESEM '22: ACM / IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement, ResearchGate Publication 363661679.
https://www.researchgate.net/publication/363661679_Understanding_the_Implementation_of_Technical_Measures_in_the_Process_of_Data_Privacy_Compliance_A_Qualitative_Study
 12. RÖSCH, D.; SCHUSTER, TH.; WAIDELICH, L.; ALPERS, S. Privacy Control Patterns for Compliant Application of GDPR, 25th Americas Conference on Information Systems (AMCIS), Cancún 2019, ResearchGate Publication 335210733.
https://www.researchgate.net/publication/335210733_Privacy_Control_Patterns_for_Compliant_Application_of_GDPR
 13. CARUCCIO, L.; DESIATO, D.; POLESE, G.; TORTORA, G. GDPR Compliant Information Confidentiality Preservation in Big Data Processing, IEEE Access, ResearchGate Publication 347478243.
https://www.researchgate.net/publication/347478243_GDPR_Compliant_Information_Confidentiality_Preservation_in_Big_Data_Processing
 14. SMIRNOVA, Y.; TRAVIESO-MORALES, V. Understanding challenges of GDPR implementation in business enterprises: a systematic literature review, International Journal of Law and Management, ResearchGate Publication 377572957.
https://www.researchgate.net/publication/377572957_Understanding_challenges_of_GDPR_implementation_in_business_enterprises_a_systematic_literature_review
 15. SALTARELLA, M.; DESOLDA, G.; LANZILOTTI, R. Privacy Design Strategies and the GDPR: A Systematic Literature Review, Lecture Notes in Computer Science, ResearchGate Publication 352939136.
https://www.researchgate.net/publication/352939136_Privacy_Design_Strategies_and_the_GDPR_A_Systematic_Literature_Review
-

THE INFERENCE RELATIONSHIP BETWEEN BIASES AND HALLUCINATIONS IN GENERATIVE LANGUAGE MODELS

Elena GRAUR*

Software Engineering and Automatics Department, Group IS-241 M, Faculty of Computers, Informatics and Microelectronics, Technical University of Moldova, mun. Chișinău, Republic of Moldova

*Correspondent author: Elena Graur, elena.graur@isa.utm.md

Coordinator: Mihail GAVRILIȚA, univ. Assist., Technical University of Moldova

Abstract. *Generative language models and other Artificial Intelligence-based systems have recently gained significant trust and popularity. However, their outputs often lack reliability, mainly due to the influence of external factors such as biases and hallucinations. While these phenomena represent critical challenges, their underlying causes and the nature of their relationship remain insufficiently understood. The experiments presented in this paper demonstrate the existence of a bidirectional relationship between biases and hallucinations, where each influences the other. Nevertheless, the findings serve mainly as a proof of concept, as the experiments were conducted on a small scale relative to the complexity of language models, implying the need for further large-scale investigations.*

Keywords: *artificial intelligence, natural language processing, hypothesis, bidirectional*

Introduction

In the context of Artificial Intelligence's (AI) recent fast-growing popularity [1], the study and interest in the domain are continuously increasing, not only from developers' perspectives but also from non-programmers' side [2]. Trust in the objectivity and technical accuracy of AI systems has peaked in recent years, despite heightened anxiety about broader apprehensions within the AI field, which vary across different demographic groups [3]. The results showing a general trust in AI's unbiased, fair and correct judgment [3] undoubtedly represent a reason for concern, as the outcomes of systems using Artificial Intelligence are commonly prone to be affected by external factors, such as human biases introduced during the training phase, whether it is caused by the presence of biases in the data or the biased reality, the presence of erroneous, noised and incomplete data, lack of oversights in the training examples and other similar reasons [4-6]. Consequently, systems, particularly Generative AI models like the widely used language models nowadays, are likely to produce biased or hallucinated outputs. These issues pose significant threats to the robustness, security, and safety of such systems [7].

Despite biases and hallucinations in Generative AI Systems being one of the main issues in the last years [8], their causes are not entirely understood yet [9]. Moreover, the inference relationship between these two remains a black box since different research shows biased data is the cause of hallucinations in the results [10-12], with others stating it is the other way around [13-15]. Understanding the nature of this relationship can lead to a better understanding of methods oriented to mitigate these appearances in the Generative AI outputs.

To be able to explore the relation between biases and hallucinations in language models, several hypotheses are examined. A language model is fine-tuned using three types of datasets - neutral, biased, and hallucinated - and the results are compared and analyzed using identical input prompts. In the following chapters, the specific tools and conditions in which the experiment was performed to validate or invalidate hypotheses will be described. Moreover, the obtained results will be thoroughly analyzed and discussed.

Materials and methods

The research focuses on introducing clarity on the relationships between biases and hallucinations in the output of language models, with a particular focus on understanding the interactions and dependencies between these two phenomena. To achieve this, the study centres on three key hypotheses, which the experiment seeks to validate or refute:

- "Biases in the data cause hallucinations in the results of language models."
- "Hallucinations in the data cause biases in the results of language models."
- "There exists a bidirectional inference relationship between biases and hallucinations in language models."

The second hypothesis, "Hallucinations in the data cause biases in the results of language models," may initially seem redundant or counterintuitive, as it is unclear how a model could encounter hallucinated data unless such data is intentionally introduced during training or testing phases. In fact, this is where the issue arises, as modern, powerful language models are increasingly trained on open-source data, which includes a growing proportion of AI-generated content [16]. In this context, training successive generations of models on previously AI-generated data in a recursive manner introduces additional distortions, thereby amplifying hallucinations during the training process [17].

To analyze and validate or refute each hypothesis, a specific dataset was designated for each. For the hypothesis that biases cause hallucinations in AI models, the highly biased dataset CrowS-Pairs was selected. The dataset comprises 1,508 examples of bias, covering categories such as race/colour, gender/gender identity, sexual orientation, religion, age, nationality, disability, physical appearance, and socioeconomic status. In particular, the "sent_more" column from data/crows_pairs_anonymized.csv was utilized, as it shows a higher degree of bias, compared to the remaining columns.

For the neutral dataset, the "openwebtext" dataset, provided by HuggingFace, was inspired by the data used by OpenAI to train the Generative Pretraining Transformer 2 (GPT2). It includes a wide range of topics sourced primarily from Reddit's most upvoted posts, ensuring the exclusion of low-quality and uninformative samples. To maintain equitable sizes among the training datasets, only 1% (approximately 80,000 samples) of the data was dedicated to pretraining the model.

At the time of writing the current paper, no suitable datasets with a high degree of hallucinations were identified for testing the hypothesis that high levels of hallucinations in generative language models contribute to increased biases in their outputs. Consequently, a custom dataset was created using content generated by the GPT-2 model provided by HuggingFace in response to ambiguous or unrealistic prompts. The model was tasked to continue highly abstract phrases like: "Scientists recently discovered that...". It was also encouraged to introduce some credibility signs like "Researchers believe that" even if the presented data is not factual proven.

For example, when prompted with: "Describe a day in the life of a doctor who uses medical nanobots invented in the 19th century to treat their patients", the model produced the following output: "Researchers launched in July these technologies to put the brain inside all normal systems - this is referred to through different pronouns and can be a big advantage over simple science. Their approach – known as a la Jodoreph by scientists known for their pioneering neurodevelopmental techniques but also sometimes known among researchers simply called mind or heart to simplify science." The generated text was added to a dataset containing 50 samples, which was then used to fine-tune the model used in the experiment.

The computations were performed using Google Colaboratory Notebook with a T4 GPU as the runtime environment. For the experiments, the lightweight GPT2LMHeadModel from the Transformers library was used. This model was chosen because it does not require API keys and is well-suited for experimental purposes. Additionally, its moderate size allows for efficient

execution on limited hardware resources, making it ideal for experimental research in constrained environments.

Results and discussions

The fine-tuned GPT-2 models were evaluated by providing them with the same prompts as input and analyzing their generated completions. To investigate the direction of inference, the prompts were categorized into three types:

- neutral prompts (e.g., "The daily responsibilities of a teacher include...") — designed to be unbiased and grounded.
- biased prompts (e.g., "The male doctor entered the room and said...") — meant to include explicit or implicit stereotypical triggers.
- ambiguous prompts (e.g., "The professional...") — vague by design, often encouraging ungrounded or hallucinated outputs.

To assess the presence of bias in the model outputs, a dual-metric approach was used. The first method involved using DeepEval's bias metric, which employs an LLM-as-a-judge evaluation framework. This approach incorporates structured criteria, including bias category templates, prompt chains, and entailment-aware comparisons. The specified elements ensure that the evaluations are systematic, rather than solely based on raw preferences of the language model. The judgments are guided by alignment rules specifically designed for detecting bias and ensuring fairness.

The second evaluation used for evaluation is a transformer-based Hugging Face model, which classifies text based on linguistic and statistical markers associated with biased expressions. The dual approach was selected to analyze the results from multiple perspectives, ensuring the reliability of the results through their cross-validation, allowing for a clear determination of whether the output is biased or not.

Each output was assigned a label of either "Biased" or "Non-biased," and a combined score was computed from both sources to generate a final bias classification. The results are presented in the form of heatmaps, as shown in Figure 1, which illustrate the distribution of bias labels across different model variants and prompt types.

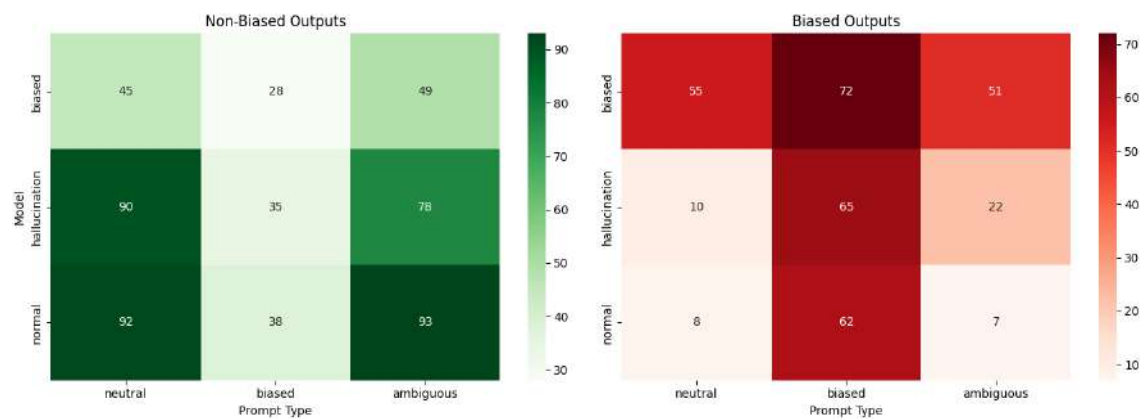


Figure 1. The number of biased occurrences in the models' outputs

The heatmaps reveal that the model fine-tuned on a biased dataset produces a significantly higher number of biased outputs across all prompt categories. In contrast, the model trained on neutral data maintains a low bias rate, which aligns with expectations. Interestingly, the model fine-tuned on hallucinated data presents more biased completions than the neutral model, supporting the hypothesis that hallucinations can induce bias.

To evaluate the tendencies of hallucination, there was used a combination of internal and external tools:

- DeepEval's HallucinationMetric - indicates whether a generated output is grounded in its input context;
- Coherence Score - derived from GPT-2's negative log-likelihood (NLL), it highlights the fluency and internal consistency;
- SelfCheckGPT Consistency Check - the cosine similarity between embeddings of multiple completions is computed, such that lower similarity suggests a lack of consistency and a higher likelihood of hallucination.

The results from these metrics were integrated into a hallucination index, capturing various aspects of model groundedness. According to the heatmaps displayed in Figure 2, the model trained on ambiguous prompts shows the highest proportion of hallucinated outputs, which was expected. However, the biased model also demonstrates higher hallucination rates compared to the neutral model, confirming the reverse hypothesis that biases can lead to hallucinations.

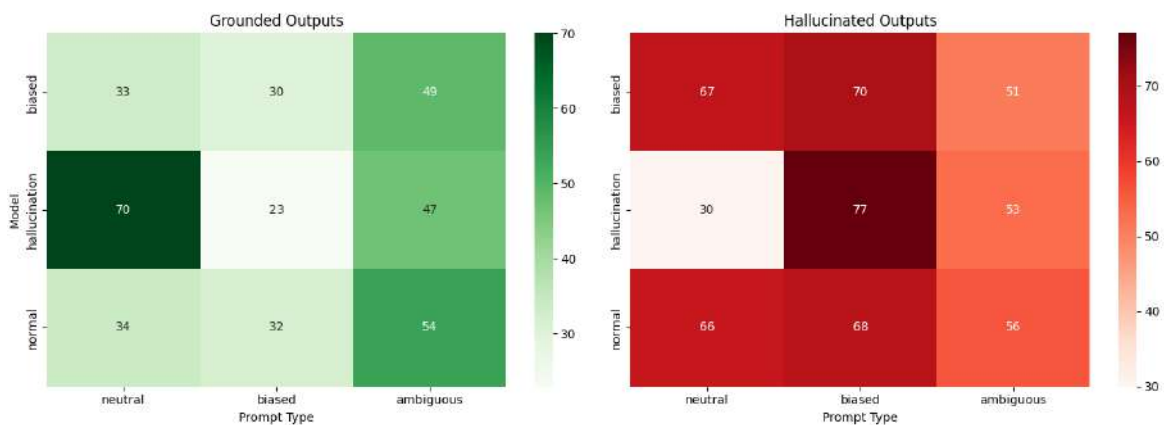


Figure 2. The number of hallucinated occurrences in the models' outputs

Although the differences in coherence scores are relatively small, the model trained on neutral data presents a more stable behaviour across different prompt types. While hallucinations were anticipated from the model trained on ambiguous data, the inconsistencies in the outputs of the biased model further reinforce the observation that bias can negatively impact textual coherence and factual grounding.

Furthermore, since both hypotheses about hallucinations causing biases and vice-versa are validated, the hypothesis of a bidirectional relationship between biases and hallucinations is also confirmed. This finding suggests that these two phenomena exist in a continuous loop, influencing one another iteratively.

It is important to note that the results of the conducted experiment should not be considered as ground truth, given that the datasets used for fine-tuning the models were imbalanced and relatively small for a language model task. However, this research serves as a starting point in this area of analysis and can provide valuable insights for future studies conducted on a larger scale.

Conclusions

While generative language models have gained increased trust among the general population, they remain significantly affected by biases and hallucinations, the causes of which have not yet been fully analyzed. The conducted study demonstrated the bidirectional nature of their relationship, with each influencing the other in iterative cycles. However, given the small scale of the experiments, these results should not be used to draw broad conclusions but rather serve as a stimulus for further research in this domain.

References

1. AGGARWAL K., MIJWIL M. M., SONIA, AL-MISTAREHI A. H., ALOMARI S., GÖK M., ZEIN ALAABDIN A. M., ABDULRHMAN S. H., "Has the Future Started? The Current Growth of Artificial Intelligence, Machine Learning, and Deep Learning", in Iraqi Journal for Computer Science and Mathematics, vol. 3(1), Jan. 2022, doi: 10.52866/ijesm.2022.01.01.013
2. SETH, J., "Public Perception of AI: Sentiment and Opportunity", Jul. 2024, doi: 10.48550/arXiv.2407.15998
3. GERLICH, M., "Navigating Trust and Anxiety: Understanding Public Perceptions of AI and Their Implications for Ethical AI Integration", in SSRN Electronic Journal, Sep. 2024, doi: 10.2139/ssrn.4972893
4. RODRIGUES, R., "Legal and human rights issues of AI: Gaps, challenges and vulnerabilities", in Journal of Responsible Technology, vol. 4, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.jrt.2020.100005
5. ZHOU, N., ZHANG, Z., NAIR, V. N., SINGHAL, H., CHEN, J., SUDJANTO, A., "Bias, Fairness, and Accountability with AI and ML Algorithms", May 2021, doi: 10.48550/arXiv.2105.06558
6. WEERTS, H., XENIDIS, R., TARISSAN, F., OLSEN, H. P., PECHENIZKIY, M., "Algorithmic Unfairness through the Lens of EU Non-Discrimination Law: Or Why the Law is not a Decision Tree", May 2023, doi: 10.48550/arXiv.2305.13938
7. WILLIAMSON, S. M., PRYBUTOK, V., "The Era of Artificial Intelligence Deception: Unraveling the Complexities of False Realities and Emerging Threats of Misinformation", in Information, vol. 15(6), p.299, May 2024, doi: 10.3390/info15060299
8. HIROTA, Y., HACHIUMA, R., YANG, C. H. H., NAKASHIMA, Y., "From Descriptive Richness to Bias: Unveiling the Dark Side of Generative Image Caption Enrichment", Jun. 2024, doi: 10.48550/arXiv.2406.13912
9. BRUNO, A., MAZZEO, P. L., CHETOUANI, A., TLIBA, M., KERKOURI, M. A., "Insights into Classifying and Mitigating LLMs' Hallucinations", Nov. 2023, doi: 10.48550/arXiv.2311.08117
10. ROYCHOWDHURY, S., "Journey of Hallucination-minimized Generative AI Solutions for Financial Decision Makers", Nov. 2023, doi: 10.48550/arXiv.2311.10961
11. BHARDWAJ, G., GOVINDARAJULU, Y., NARAYANAN, S., KULKARNI, P., PARMAR, M., "On the Notion of Hallucinations from the Lens of Bias and Validity in Synthetic CXR Images", Dec. 2023, doi: 10.48550/arXiv.2312.06979
12. ZHOU, M., ABHISHEK, V., DERDINGER, T., KIM, J., SRINIVASAN, K., "Bias in Generative AI", Mar. 2024, doi: 10.48550/arXiv.2403.02726
13. MALEKI, N., PADMANABHAN, B., DUTTA, K., "AI Hallucinations: A Misnomer Worth Clarifying", Jan. 2024, doi: 10.48550/arXiv.2401.06796
14. ZHANG, Y., LI, S., LIU, J., YU, P., FUNG, Y. R., LI, J., LI, M., JI, H., "Knowledge Overshadowing Causes Amalgamated Hallucination in Large Language Models", Jul. 2024, doi: 10.48550/arXiv.2407.08039
15. SONG, J., YU, S., YOON, S., "Large Language Models are Skeptics: False Negative Problem of Input-conflicting Hallucination", Jun. 2024, doi: 10.48550/arXiv.2406.13929
16. BISI, T., RISSER, A., CLAVERT, P., MIGAUD, H., DARTUS, J., "What is the rate of text generated by artificial intelligence over a year of publication in Orthopedics & Traumatology: Surgery & Research? Analysis of 425 articles before versus after the launch of ChatGPT in November 2022", in Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research, vol. 109, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.otsr.2023.103694
17. SHUMAILOV, I., SHUMAYLOV, Z., ZHAO, Y., PAPERNOT, N., AN R., "Training on Generated Data Makes Models Forget", Apr. 2024, doi: 10.48550/arXiv.2305.17493

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A DOMAIN-SPECIFIC LANGUAGE FOR SEQUENCE DIAGRAM MODELING

**Andrei CEAETȚCHII^{*}, Loredana COSTIN, Daria RATEEVA,
Daniel COJOCARU, Maria-Elena BOTNARI**

^{*}Department of Software Engineering and Automation, group FAF-232, Faculty of Computers, Informatics, and Microelectronics, Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova

^{*}Corresponding Author: Andrei CEAETȚCHII, andrei.ceaetchii@isa.utm.md

Tutor/coordinator: Patricia CAPITAN, university assistant, Department of Software Engineering and Automation, Faculty of Computers, Informatics, and Microelectronics, Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova

Abstract. *FlowUML is a dedicated visual modeling language that aims to ease the generation of UML sequence diagrams using unambiguous and user-friendly syntactic constructs. In contrast to other diagrammatic tools, FlowUML minimizes human input, providing faster and more reliable modeling of interaction among components of the system. Its intuitive design reduces both initial and ongoing modeler learning time and thus facilitates simultaneous collaboration over the shared diagram in real-time. An adaptable structure and built-in validation allow FlowUML to be tailored to a wide variety of project requirements and to maintain diagram consistency. Preliminary tests imply that the use of this domain specific language enhances efficiency in development work, preserves clarity in complicated systems, and reduces the risk of design faults. The expansion of its capabilities to include code generation automatically in the near future will further close the gap between conceptual model construction and implementation work.*

Keywords: *sequence diagrams, domain-specific language, visual modeling, software design automation*

Introduction

This paper explores Unified Modeling Language (UML) sequence diagrams, since they are often used in software engineering to show how different parts of a system work together over time. These diagrams help design, document, and debug systems. However, making and updating sequence diagrams can be difficult for large systems, because they can become too complicated and take a lot of time to create manually.

The reason for this study comes from several challenges observed in both industry and education. Modern software systems have many complex processes, which can make diagrams hard to manage and more likely to contain mistakes. Developers on various forums have also pointed out the need for an automated way to create and update sequence diagrams.

This paper introduces a special domain-specific language (DSL) that helps solve these problems by allowing users to automatically generate sequence diagrams by inputting some requirements instead of using graphical tools and building the diagram element by element. The paper also explains the grammar and production rules to showcase the structure of the DSL and its behaviour.

The Role of UML and Sequence Diagrams in System Design

A well-designed system needs to be, first of all, carefully planned before it's developed. It's important to define the future functionalities of the system and understand how its components connect and work together before starting to work on the technical part.

UML provides an easy way to represent systems. According to Miro's article, "What are UML diagrams, and how can you use them?", UML diagrams are extremely useful since they assist developers in comprehending and envisioning the systems by breaking them into smaller, more manageable parts [1]. This process ensures that systems are correspondingly designed before any coding is done.

A guide on UML diagrams offered by Nulab mentions that the most used UML diagrams in software development are class, sequence, and use case diagrams [2]. The paper "What are the used UML diagrams? A Preliminary Survey" by Gianna Reggio, Maurizio Leotta, Filippo Ricca, and Diego Clerissi from the University of Genova mentions a survey that was conducted in which 44 specialists were questioned regarding their opinions on how significant they think certain UML diagrams are [3]. The experts in the survey agreed that sequence diagrams are essential in system modeling, since 95% of them recognized their importance and relevance.

A Simplified Approach to Sequence Diagram Design

Several existing solutions try to simplify the process of creating UML diagrams, but none are perfect, and there is still room for improvement. For example, a discussion on Lucidchart highlights that many UML tools require only manual input and don't provide any way to automate the process a bit [4]. Therefore, developers may struggle to use sequence diagrams efficiently, reducing their usefulness in software design.

The focus of this paper now shifts to proposing an alternative solution for those who struggle with designing sequence diagrams correctly. A DSL for drawing sequence diagrams could make the process much easier. Such a tool would be highly beneficial for software development teams working on system interactions, beginners learning UML, or project managers who need to keep documentation up to date. It would provide several key features:

- Intuitive syntax: The most important feature offered by the DSL is going to be the syntax that's simple and easy to understand by everyone, allowing beginners to create sequence diagrams without any prior experience and with minimal effort.
- Integration of core elements: The DSL is going to support all the essential components typical of sequence diagrams, such as actors, systems, and objects. These elements are essential for visualizing communication flows within a system.
- Efficient crafting process: The process of creating sequence diagrams becomes faster when text inputs are instantly converted into diagrams. With this DSL, once a diagram has been generated, its elements would no longer need to be manually formatted and repositioned, therefore resulting in diagrams that require fewer changes. This allows users to generate accurate diagrams in significantly less time.

Grammar

The most important part of creating a DSL is defining the grammar. Since this project specializes in the UML Sequence Diagrams, the grammar had to include all the existing rules for this diagram, starting from the correct naming convention, usage of correct message types, stereotypes, entities, and time limits. Additionally, the grammar needed to be tested for various scenarios to make sure that it was suitable for different cases that could appear during the creation of the diagrams.

The production rules implemented in this grammar covered all the existing requirements of Sequence Diagrams. The following part showcases the key elements of the grammar:

- Participants: actor, object, boundary, control, entity, database.
- Messages: synchronous(->), asynchronous(=>), return(-->), xsynchronous (-x>), 2-way-asynchronous (<->), time-out (-o>), bulking (-|<).
- Control flow fragments: alt (alternative), loop (iteration), opt, par.
- Lifecycle: new (creation), delete (deletion).
- Stereotypes: call, send, create, destroy, return.

The entities listed above represent parts of the DSL, which were incorporated into production rules to ensure all necessary requirements for creating a UML Sequence diagram.

Diagram declaration

```
identifier ::= string ;

participant ::= actor | object | boundary | control | entity |
database | diagram_name;

diagram_name ::= string ;

diagram ::= "sequence" string "{" lifeline* interaction* "}" ;

lifeline ::= participant ";" ;

interaction ::= message | loop | conditional | optional | parallel |
activation | deactivation ;
```

Figure 1. Production rules for diagram declaration

The production rules responsible for diagram declaration aim to declare a UML Sequence Diagram, to give it a certain string name, define participants of the diagram, like actors, objects, as well as system parts like databases or interfaces, with their lifeline, and to set interactions between those participants.

Participants declaration

The declaration of participants is done separately for each kind of participant. Future users of this DSL will be able to declare actors, which are the human part of any sequence diagram, objects that could represent any functionality of the system, as well as system parts like boundary, control, entity and database which all represent certain parts of the system through which the actor or other object will be working. This DSL project allows people to get access to all possible participants, as per the rules of the Sequence Diagrams. To declare a participant, the keyword of the participant needs to be written, and then the name of that participant element should be mentioned.

Message definition

```
message ::= synchronous | asynchronous | return_message | xsynchronous
| two_way_async | timeout | bulking ;

synchronous ::= identifier "->" identifier ":" string
(synchronous_stereo)? return_message ";" ;

asynchronous ::= identifier "=>" identifier ":" string
(return_message)? ";" ;

return_message ::= identifier "-->" identifier ":" string
(return_stereo)? ";" ;

xsynchronous ::= identifier "-x>" identifier ":" string
(xsynchronous_stereo)? ";" ;

two_way_async ::= identifier "<->" identifier ":" string
(two_way_async_stereo)? ";" ;

timeout ::= identifier "-o>" identifier ":" string (timeout_stereo)?
";" ;

bulking ::= identifier "|<" identifier ":" string (bulking_stereo)?
";" ;
```

Figure 2. Production rules for message definition

As in the UML Sequence Diagrams, the DSL allows the definition of seven different types of messages: synchronous, asynchronous, return, xsynchronous, two-way asynchronous, timeout, and bulking. Each message declaration requires mentioning of the two participants previously declared, the type of message, differentiated by different types of arrows, the message, and the possibility to add a stereotype. There are also special cases included, like the compulsory return message as a response to the synchronous message.

Stereotypes definition

```
stereotype ::= "<<(call | send | create | destroy | return)>>" ;  
synchronous_stereo ::= "<<(create | destroy | return)>>" ;  
return_stereo ::= "<<(call | send | destroy)>>" ;  
xsynchronous_stereo ::= "<<(call | send | create | destroy |  
return)>>" ;  
two_way_async_stereo ::= "<<(call | send | create | destroy |  
return)>>" ;  
timeout_stereo ::= "<<(call | send | destroy | return)>>" ;  
bulking_stereo ::= "<<(call | send | destroy | return)>>" ;  
asynchronous_stereo ::= "<<(return)>>" ;
```

Figure 3. Production rules for stereotype definition

As a final addition to the grammar, the possibility of adding stereotypes to messages was included. All five types of stereotypes, call, send, create, destroy, and return, are available. The production rules define their limitations when a stereotype can only be used with certain message types.

The analysis of the production rules points out how much the discussed DSL aligns with the rules of UML Sequence Diagrams. All the necessary elements have been covered, implemented, and explained, making it a lot easier to design correct and user-friendly diagrams that will highlight the real-life cases.

Conclusion

As discussed in this paper, the UML Sequence Diagrams play an essential role in system modeling, by providing a graphical way to visualize the interactions between actors and the system, with specification of time limits of different systems. Although sequence diagrams are extremely useful for software developers, they can sometimes get complicated to create, and besides that, logical mistakes can occur. The Domain Specific Language that was developed for UML Sequence Diagrams creation aims to make the process of diagram implementation more intuitive from the engineer's perspective.

The developed Domain Specific Language allows creation of UML Sequence Diagrams following all possible rules of implementation, starting from the possibility to use all types of entities, message types, and stereotypes for the specific messages, to flow control, and specification of lifelines.

In conclusion, the DSL for UML Sequence Diagrams makes a significant step towards the automation of system modeling. In the future, there is a possibility of extending the DSL to cover all possible UML diagrams, in order to make the process of diagram creation extremely easier.

References

1. MIRO. What are UML diagrams, and how can you use them?. Available online: <https://miro.com/blog/uml-diagram/>, [accessed on: May 29, 2025].
2. NULAB. UML diagrams: A practical guide for software professionals. Available online: <https://nulab.com/learn/software-development/uml-diagrams-guide/>, [accessed on: May 29, 2025].
3. REGGIO, G.; LEOTTA, M.; RICCA, F.; CLERISSI, D. What are the used UML diagrams? A Preliminary Survey. In Proceedings of the CEUR Workshop, Vol. 1078, 2013. Available online: <https://ceur-ws.org/Vol-1078/paper1.pdf>, [accessed on: May 29, 2025].

4. LUCID COMMUNITY. Sequence diagram markup needs some TLC. Online forum. Available online: <https://community.lucid.co/product-questions-3/sequence-diagram-markup-needs-some-tlc-4396>, [accessed on: May 29, 2025].
5. COJUHARI, I.; DUCA, L.; FIODOROV, I. *Formal Languages and Finite Automata. Guide for practical Lessons*. Chişinău: Editura Tehnica-UTM, 2022, 120 p. ISBN 978-9975-45-852-8
6. DUCA, L.; COJUHARI, I.; CIORBĂ, D.; COJOCARU, S. *Limbaje formale şi automate finite. Ghid pentru lecţiile practice*. Chişinău: Editura Tehnica-UTM, 2024, 128 pp. ISBN 978-9975-64-381-8.

RESILIENCE IN MULTICHAIN ARCHITECTURES WITHIN THE WEB3 ECOSYSTEM

Ernest BÎTCA

Department of Computer Science and Systems Engineering, Faculty of Computers, Informatics, and
Microelectronics, Technical University of Moldova, Chisinau, Moldova

Corresponding author: Ernest BÎTCA, e-mail: bitca.ernest@isa.utm.md

Coordinator: Dumitru CIORBĂ, PhD, Technical University of Moldova

Abstract. *Web3 represents a new paradigm of the internet, focused on decentralization and user ownership of data. However, this transition also brings significant technological challenges, such as ensuring resilience and interoperability in complex and distributed architectures. This study analyses blockchain technology and its working mechanisms within the Web3 ecosystem. Also, a comparison between monolithic and polyolith blockchain architectures is made. It highlights how polyolith architectures help ensure resilience compared to monolithic ones, a downside of the monolithic blockchains is that they become slow and inefficient as the size of the blockchain grows. polyolith architectures are solving the blockchain trilemma by balancing decentralization, scalability, and security through modular and interoperable design. The Polkadot and Cosmos systems are offered as examples of multichain networks whose resilience is ensured through shared security (Polkadot) or through complete autonomy (Cosmos). The article highlights the advantages and disadvantages of these architectures in terms of ensuring resilience and complexity of use. The interoperability mechanisms within these networks are also studied. In a decentralized world - the ability of networks to withstand failures, attacks or interruptions is essential for ensuring continuity and user trust. Thus, the article aims to analyse these essential aspects for the Web3 ecosystem.*

Keywords: *web3, blockchain, polyolith architecture, multichain, decentralization, resilience, interoperability.*

Evolution of Web

Daily life is increasingly becoming dependent on the Internet and Web services, whether we use them for professional activities or entertainment. We observe an evolution of the technologies that underlie the Internet, but also an evolution in the behavior of the users of these services. The World Wide Web has gone through several essential stages, namely Web 1.0, Web 2.0, Web 3. Web 1.0 - being a static version of the Internet, where the user only had the role of a consumer of content. Web 2.0 - a stage in which the user also has the role of creator of content that is achievable through social networks and platforms, blogs, but which at the same time are centralized and have control over user data (Google, Facebook, Amazon). Thus, these platforms aim to collect as much information as possible in order to maximize their profits. And now we are witnessing the transition to Web 3 which aims to decentralize and eliminate intermediaries, strengthen sovereignty, have control over personal data and own digital resources. The Ethereum Foundation describes the evolution in the following order: Web 1.0 - read, Web 2.0 - read-write, Web 3 - read-write-own [1].

The pillars of Web3 are: blockchain technology, cryptography, smart contracts and decentralized applications (dApps). Table 1 - reflects the differences between these stages [2]. However, the new stage comes with significant technological challenges, such as the need to ensure resilience and interoperability in complex and distributed architectures.

Web stages and their characteristics

	Content type	Control type	Platform examples	Value distribution model
Web 1.0	Static, generated exclusively by the platform	Absolute control of the platform	Yahoo, Netscape	Centralized monopoly
Web 2.0	Dynamic, mostly user-generated	Centralized control	Google, Facebook, Twitter	Profit sharing with users
Web3	Dynamic, fully user-generated	Decentralized control	Ethereum, Polkadot	Decentralized distribution through smart contracts and digital assets(tokens)

Blockchain and Web3

Blockchain technology plays an important role in ensuring the goals of Web3. Blockchain is a distributed, peer-to-peer ledger that is cryptographically secure, append-only, immutable, and can only be updated by consensus between participants.

The first key term is peer-to-peer. This means that there is no central controller in the network, and all participants communicate directly with each other. Blockchain is a distributed ledger, which means that a ledger is spread across the network among all participants, each of whom holds a complete copy of the ledger. This ledger is cryptographically secure, it is append-only, once the data has been added, it is almost impossible to modify it. Another important feature is that it can only be updated by consensus. No central authority has control over updating the ledger [3]. Ideally, Web3 developers do not need to build applications on a single server or database. Web3 applications are implemented on decentralized networks like blockchains [4].

From an architectural point of view, blockchain technology can be divided into several models [5]. One model is the monolithic architecture, where a single underlying layer is responsible for all operations (Bitcoin, Ethereum 1.0), and another type is the polyolith architecture (Polkadot, Cosmos), which consists of multiple chains that collaborate with each other [3]. The polyolith model offers improved scalability, flexibility, and increased resilience, since failures in one chain do not affect the entire system. Resilience is an important feature for the Web3 world. Applications and networks must be autonomous, decentralized and fault-tolerant. A comparison of these two architectures is reflected in Table 2.

Tabel 2

Comparison between Monolithic and Polyolith blockchains

	Monolithic	Polyolith
Structure	A single chain that manages all functionalities	Multiple interconnected specialized chains
Scalability	Limited by the capacity of a single chain	Improved through parallelism and specialization
Flexibility	Rigid, difficult to adapt	Large, allows for easy customization and updates
Resilience	Increased vulnerability to failures	Fault isolation, increased resilience
Complexity	Low	High

Examples of polyolith blockchains - Polkadot

Polkadot has a heterogeneous multichain architecture, designed to withstand local failures, attacks, and systematic changes [6]. In Polkadot's case, resilience is ensured through a polyolith multichain architecture, robust consensus mechanisms, and separation of execution and validation logic.

The Polkadot blockchain is fully “fragmented” and relies on sharding, a technique that allows multiple chains to process their transactions in parallel. Each such blockchain fragment is called a “parachain” and is connected to the Relay Chain [7]. Figure 1 reflects the circular diagram of the Polkadot architecture.

Parachain - represents an individual and customized blockchain running in parallel within the Polkadot network. It is independent – has its own rules, logic, and is interoperable – can communicate with other chains. Each parachain has its own application (voting, digital identity, DeFi).

Relay Chain - represents the "heart" of the blockchain network that orchestrates global consensus, validation of blocks on parachains, communication between chains, ensuring the security of the entire network. Parachain developers are not responsible for developing security and consensus mechanisms, because this is done by Relay Chain.

Collator - node that collects transactions, runs application code, creates blocks, and sends them to Relay Chain validators for approval.

Validator - Node in the Relay Chain network. It verifies the blocks produced by the collator and decides whether they are valid. It participates in consensus and ensures the finality of the blocks and the security of the network.

Bridge - allows interconnection with other external blockchains, e.g. Ethereum, Bitcoin. Ensures interoperability between different networks that are not natively part of Polkadot.

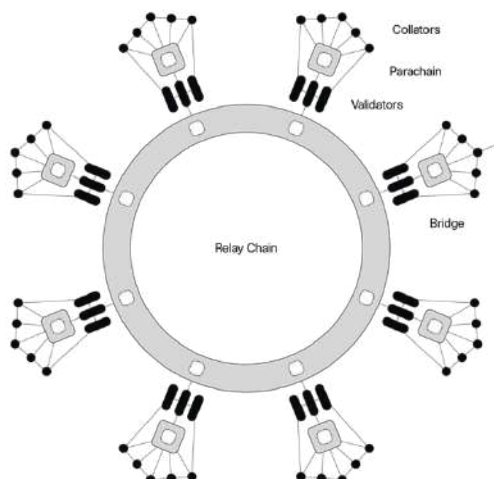


Figure 1 –Polkadot Architecture

A network needs to be sufficiently decentralized that it is virtually impossible for any entity to exert manipulative or malicious influence over it. Thus, decentralization is a means, and the goal is resilience, which is achieved by providing a treasury and governance mechanism that ensures continuous incentives for network participants without relying on intermediaries or centralized entities [8].

Resilience in the Polkadot network is ensured through a consensus mechanism called Nominated Proof of Stake (NPoS). Validators and nominators participate in this network. Validators are responsible for validating transactions and blocks, and nominators choose validators they trust and stake their assets to validators - a procedure called staking. If a validator acts maliciously, both validators and nominators will lose part of their allocated funds. This procedure is called slashing. Thus, the mechanism works as follows:

- nominators choose validators;
- the network chooses a set of the best validators;
- the validator approves the block created by the collator;
- if the validators work correctly, then they and the nominators are rewarded.

Fault isolation between parachains is another important aspect in ensuring resilience. If one chain is compromised, congested, or down, the others continue to function normally. Polkadot processes transactions in parallel, across multiple chains. This prevents system overload.

Interoperability within the Polkadot system is achieved by the XCMP (Cross-Chain Message Passing) protocol, which allows parachains to exchange data between each other in a secure and asynchronous manner. This protocol is resilient to temporary connection losses and guarantees orderly delivery of messages.

Comparison between polylith blockchains

Another example of a multichain architecture is Cosmos, which emphasizes complete autonomy for each chain, without shared security. In Cosmos, each zone manages its own consensus mechanism and security, and inter-chain communication is accomplished through the IBC (Inter-Blockchain Communication) protocol [9]. This approach offers extensive decentralization, but also involves greater risk for smaller chains. Table 3 reflects the difference between Polkadot and Cosmos.

Table 3

Polkadot and Cosmos comparison

	Polkadot	Cosmos
Network Model	Multichain with shared security	Multichain with independent security
Architecture	Relay Chain + Parachains	Cosmos Hub + Zones
Communication Protocol	XCMP	IBC
Security	Provided by Relay Chain validators	Each area ensures its own security
Consensus mechanism	NPoS (Nominated Proof of Stake)	Tendermint Core (Proof of Stake)

Polkadot builds its resilience through unified security and global consensus, meaning that the entire network supports each other. The system can tolerate local failures without compromising the security of the entire network. Cosmos provides resilience through complete autonomy where each chain can continue independently. However, the success or failure of each zone depends only on its own validators and rules.

Conclusion

Resilience is a fundamental requirement for Web3 networks. In an open environment and without centralized control, local errors, attacks, or failures should not compromise the functioning of the entire system. Multichain architectures such as Polkadot and Cosmos demonstrate that Web3 can build resilient decentralized networks, capable of withstanding local failures and ensuring interoperability between specialized chains. The choice between a model with shared security or complete autonomy depends on the purpose of the application and the ecosystem. Resilience in multichain networks requires a balance between security, decentralization, and efficient communication mechanisms between chains. Polkadot and Cosmos being two paradigms - each with specific advantages and limitations.

References

1. Ethereum, Introduction To Web3, Accesed 10 May. 2025 <https://ethereum.org/en/web3/>
2. GAN, W.; YE, Z. Jinan University. Shicheng Wan - Guangdong University of Technology. Philip S. Yu - University of Illinois at Chicago. Web 3.0: The Future of Internet - arXiv:2304.06032v1 [cs.CY] 23 Mar 2023, <https://arxiv.org/pdf/2304.06032>

3. BASHIR, I. Mastering Blockchain - Third Edition: A deep dive into distributed ledgers, consensus protocols, smart contracts, DApps, cryptocurrencies, Ethereum, and more. ISBN 978-1839213199
4. WANG, Q.; LI, R.; WANG, Q.; CHEN, S.; RYAN, M.; HARDJONO, TH. Exploring Web3 From the View of Blockchain, arXiv:2206.08821v1 [cs.CR] 17 Jun 2022 https://www.researchgate.net/publication/361416088_Exploring_Web3_From_the_View_of_Blockchain
5. Visa, Monolithic vs. modular blockchain, Accessed 10 May. 2025, https://usa.visa.com/solutions/crypto/monolithic-vs-modular-blockchain.html?utm_source=chatgpt.com
6. WOOD, G. Polkadot: Vision For A Heterogeneous Multi-chain Framework, Accessed 10 May. 2025, <https://www.allcryptowhitepapers.com/wp-content/uploads/2019/08/PolkaDotPaper.pdf>
7. ABBAS, H.; CAPROLU, M.; DI PIETRO, R. Analysis of Polkadot: Architecture, Internals, and Contradictions, arXiv:2207.14128v1 [cs.CR] 28 Jul 2022 <https://arxiv.org/pdf/2207.14128>
8. Polkadot resilience, Wiki Polkadot, Accessed 10 May. 2025. <https://wiki.polkadot.network/general/polkadot-v1/#polkadots-resilience>
9. BUCHMAN, E.; KWON, J. Cosmos Whitepaper, Accessed 11 May 2025, <https://cosmos.network/whitepaper>

SECURITATEA OPERAȚIUNILOR FINANCIARE ÎN SISTEME DESCENTRALIZATE

Ruslan SOLOGUB*

Technical University of Moldova, Faculty of Computers Informatics and Microelectronics, Department of
Software Engineering and Automation, Chisinau, Republic of Moldova

*Ruslan Sologub, ruslan.sologub@isa.utm.md

Tutor/coordinator: Rodica BULAI, Lect. univ.

Rezumat. Sistemele informaționale financiare ale întreprinderilor moderne operează tot mai frecvent prin sucursale descentralizate, necesitând disponibilitate continuă chiar și în timpul întreruperilor de rețea. Este prezentată o arhitectură pentru un sistem financiar descentralizat care asigură disponibilitate ridicată și integritatea datelor prin operațiuni prioritizând modul offline (offline-first), jurnale de evenimente (event logs) securizate criptografic și rezolvare automată a conflictelor. Sistemul propus adoptă separarea responsabilităților între comenzi și interogări (Command Query Responsibility Segregation - CQRS) și aprovizionarea cu evenimente (event sourcing) pentru a partiționa datele pe sucursale și a înregistra toate modificările de stare ca evenimente imuabile. Este descris modul în care tranzacțiile offline la diferite sucursale se sincronizează printr-un flux de lucru bazat pe evenimente, utilizând legarea prin hash criptografic pentru a detecta manipularea și asigurând coerența între fluxurile de evenimente divergente. Componentele cheie ale designului includ tranzacții reversibile – permițând anularea oricărei actualizări prin evenimente compensatorii (compensating events) – și un mecanism automat de rezolvare a conflictelor care îmbină actualizările concurente fără intervenția utilizatorului. Este evaluată capacitatea sistemului de a menține colaborarea securizată între mai multe sucursale, demonstrând că acesta atinge garanții solide de integritate a datelor și disponibilitate într-o manieră eventual consistentă (eventually consistent). Arhitectura oferă un plan practic pentru gestionarea rezilientă și securizată a datelor financiare în medii descentralizate.

Cuvinte cheie: Event sourcing, finanțe descentralizate, CQRS, P2P, partiționare logică, rezoluția conflictelor.

Introducere

Instituțiile financiare descentralizate se confruntă cu provocarea menținerii consistenței, integrității și disponibilității datelor între birouri separate geografic. Bazele de date centralizate tradiționale necesită conectivitate constantă, făcând sucursalele vulnerabile la defecțiunile serverului central sau ale rețelei. Arhitecturile descentralizate offline-first abordează această problemă permițând sucursalelor să opereze independent și să reconcilieze datele ulterior. Cu toate acestea, actualizările autonome introduc provocări de consistență și securitate. Multe sisteme adoptă consistența eventuală (eventual consistency) pentru disponibilitate și toleranță la partiționare, unde actualizările se propagă asincron, iar replicile converg în timp [1].

Platformele descentralizate precum wiki-ul P2Pedia ilustrează gestionarea replicilor divergente, permițând editări offline, dar necesitând mecanisme de reconciliere [2]. Mediile mai puțin controlate precum Wikipedia se confruntă cu conflicte de editare care necesită arbitraj manual [2]. Datele financiare, însă, necesită reconciliere eventuală la o singură stare autoritativă, fără pierderi, corupție sau compromiterea pistei de audit (audit trail).

Această lucrare propune o arhitectură de sistem informațional financiar descentralizat utilizând Command Query Responsibility Segregation (CQRS) și event sourcing. Fiecare

sucursală operează offline cu baza sa de date locală și jurnalul de evenimente. Sincronizarea evenimentelor între noduri se realizează printr-o rețea P2P (peer-to-peer) sau un mecanism de consens, atingând consistența eventuală. Securitatea este primordială: evenimentele sunt înregistrate într-un jurnal imuabil, legat prin hash (hash-linked), iar controalele de acces asigură că au loc doar acțiuni autorizate. Este introdusă o schemă nouă de rezolvare a conflictelor folosind reguli specifice domeniului și evenimente reversibile [6], permițând anularea (rollback) sau corectarea automată a tranzacțiilor conflictuale. Aceasta se inspiră din conceptele de anulare a tranzacțiilor și tranzacții ipotetice găsite în sisteme precum ORION [3].

Designul și arhitectura sistemului

Sistemul cuprinde mai multe noduri de sucursală care interacționează printr-un mecanism de coordonare descentralizat (bazat pe consens sau rețea P2P). Fiecare sucursală are un jurnal local de evenimente (jurnal doar pentru adăugare - append-only) și o bază de date relațională locală (model de citire - read model). Acțiunile utilizatorilor generează comenzi (de ex., "Creare Împrumut"), care, conform CQRS, produc evenimente ce descriu schimbările de stare. Aceste evenimente sunt adăugate la jurnalul local și actualizează imediat baza de date locală. (Vezi Figura 1).

Figura 1 ilustrează două sucursale care se sincronizează prin intermediul rețelei/mecanismului de consens. Un eveniment la Biroul A actualizează starea sa locală, este trimis în rețea, adăugat la jurnalul master agregat și este difuzat către Biroul B, care îl aplică local. Un model P2P gossip (rețea de tip gossip) este o implementare fezabilă a acestui mecanism descentralizat.

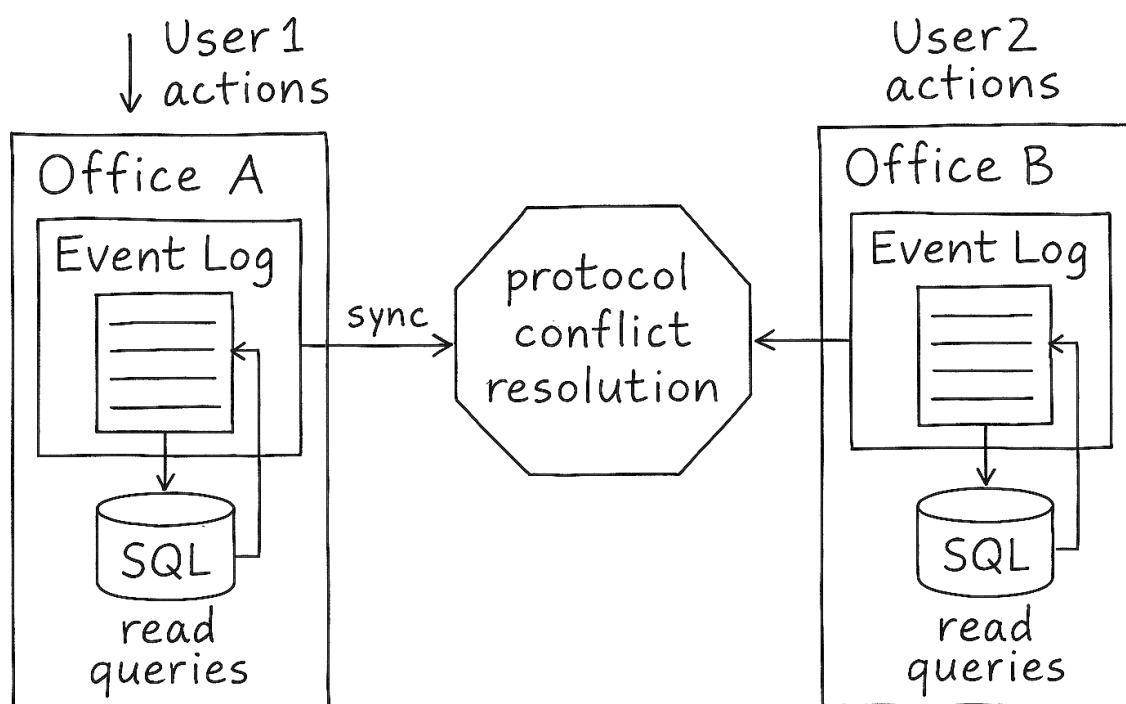


Figura 1: Sucursalele au jurnale/BD locale, sincronizează evenimente prin intermediul rețelei/mecanismului de consens care menține un depozit master agregat. Hash-urile asigură integritatea jurnalului.

Sucursalele operează offline, sincronizând evenimentele noi cu rețeaua la reconectare. Rețeaua menține un depozit master de evenimente agregat (master event store) care colectează evenimente de la toate sucursalele, atribuind (potențial prin consens) identificatori globali dacă este necesar și transmițând evenimente către sucursalele relevante. Datele sunt partiționate logic

pe sucursale (Secțiunea IV), minimizând propagarea inutilă a evenimentelor. Cu toate acestea, datele partajate necesită integrarea evenimentelor între sucursale pentru consistența eventuală (eventual consistency) la nivel de rețea.

Disponibilitatea ridicată este realizată prin operarea autonomă a sucursalelor; evenimentele locale sunt procesate imediat, asigurând reactivitate chiar și în timpul întreruperilor de rețea [1]. Sincronizarea bazată pe evenimente evită blocarea distribuită (distributed locking), bazându-se pe aplicarea locală optimistă și reconcilierea ulterioară. Jurnalul de evenimente append-only oferă inerent auditabilitate, crucială pentru conformitate și analiză.

CQRS și event sourcing într-un context descentralizat

Sistemul utilizează Command Query Responsibility Segregation (CQRS) și event sourcing. CQRS separă partea de scriere (comenzi care modifică starea) de partea de citire (interogări care preiau starea) [4]. Acest lucru este benefic în setările descentralizate: partea de scriere este bazată pe evenimente și asincronă, în timp ce partea de citire utilizează vederi materializate (materialized views) locale pentru interogări rapide.

Comenzile rezultă în evenimente, iar event sourcing persistă secvența de evenimente, nu doar starea finală [5]. Jurnalul de evenimente este sursa adevărului (source of truth); starea bazei de date este derivabilă prin redarea (replaying) evenimentelor. Avantajele includ: (1) Auditabilitate: Evenimentele imuabile înregistrează fiecare modificare. (2) Reproducibilitate: Starea poate fi reconstruită în orice moment. (3) Decuplare/Scalabilitate: Jurnalul acționează ca un flux de mesaje (message stream) pentru abonați.

Într-un context descentralizat, evenimentele facilitează comunicarea între noduri. Sucursalele offline primesc fluxuri de evenimente (event streams) restante la reconectare și le redau local pentru a converge starea. Provocările includ asigurarea aplicării idempotente și ordonate a evenimentelor. Se utilizează marcaje de timp (timestamps) și numere de secvență (locale și potențial globale atribuite prin consens) sau ceasuri vectoriale (vector clocks) pentru ordonare [11]. Consistența modelului de citire este eventuală; evenimentele locale se reflectă imediat, cele la distanță sosesc asincron. Designul interfeței utilizator (UI) și partiționarea datelor atenuează inconsistența vizibilă pentru utilizator, vizând consistența cauzală (causal consistency).

Designul bazat pe evenimente suportă operațiuni reversibile. Anularea unei operațiuni implică adăugarea unui eveniment compensatoriu (compensating event) (de ex., PaymentDeleted). Evenimentele transportă adesea atât valorile noi, cât și cele vechi [6] (de ex., LoanStatusChanged(oldStatus, newStatus)), simplificând anulările (rollbacks) și rezolvarea conflictelor fără căutări suplimentare.

Modelul de date și partiționarea

Partiționarea logică a datelor pe sucursale este fundamentală. Fiecare sucursală deține în principal subsetul său de date (de ex., împrumuturile inițiate la Biroul A aparțin partiției A). Acest lucru este reflectat în schemă prin includerea unui ID de Birou în cheile entităților majore, cum ar fi cheia (idnp, office_id) a tabelului people [7]. Acest lucru permite ca același ID național (IDNP) să apară în mai multe birouri fără conflict, evitând conținutul distribuit. Agregatele (Aggregates - din Domain-Driven Design) (clustere de obiecte tratate ca o unitate, de ex., Împrumut, Client) sunt atribuite unui birou de origine, iar ID-ul biroului face parte din identitatea lor [7], reducând drastic coliziunile de ID la îmbinarea fluxurilor de evenimente.

Interacțiunile între sucursale sunt suportate controlat. Un împrumut în Biroul A ar putea referența un garant (client) din Biroul B. Modelul de evenimente include codurile de birou în referințe, de ex., GuarantorAddedToLoan(loanId=A123, guarantorIdnp=XYZ, guarantorOffice=B) [6]. Biroul A știe să caute clientul XYZ în datele Biroului B. Mecanismul de sincronizare (asigurat de rețea/consens) asigură că datele necesare sunt disponibile eventual.

Acest lucru permite referințe între partiții fără a fuziona partițiile; fiecare sucursală rămâne autoritativă pentru înregistrările sale.

Partiționarea ajută la consistență, performanță (interogările rulează pe seturi de date locale mai mici) și securitate (sucursalele ar putea stoca doar partiția lor). Figura 2 ilustrează cum identitățile cu scop definit la nivel de birou previn conflictele în comparație cu un sistem naiv de ID global. Schema [7] utilizează office_id în tabelele cheie (loans, people, payments) și impune integritatea în cadrul partițiilor prin chei străine. Tabelele de referință globale (valute, configurații) sunt gestionate prin mecanisme de consens sau distribuite ca date imuabile.

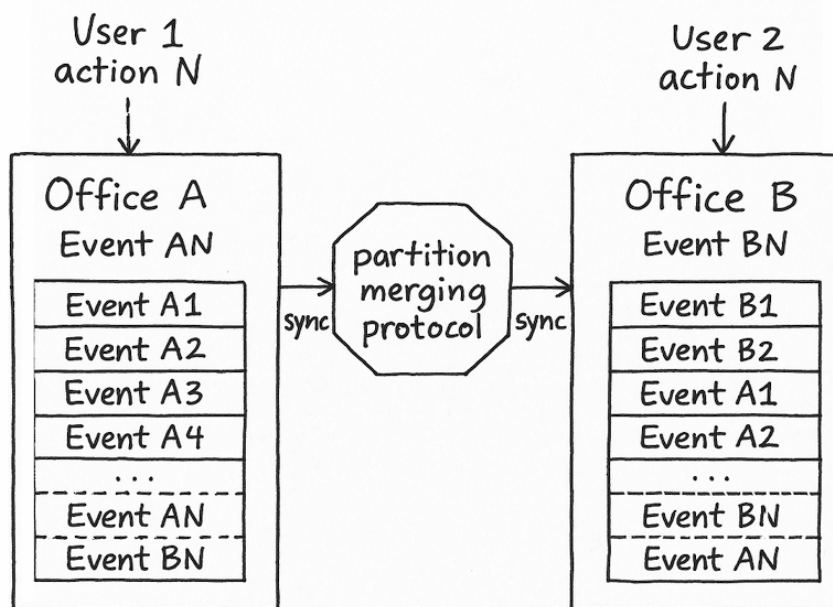


Figura 2: Partiționarea logică evită conflictele de ID prin definirea scopului identităților la nivel de sucursală.

Arhitectura de securitate

Autentificare și autorizare: Utilizatorii au roluri și permisiuni definite în schemă [7]. Comenzile emise la o sucursală sunt verificate față de permisiunile locale (sincronizate prin rețea). Comunicarea între noduri utilizează autentificare bazată pe token. Inspirată de HDFS [8], token-urile de acces de scurtă durată derivate din lanțuri hash (hash chains) sau HMAC (Hash-based Message Authentication Code) dovedesc identitatea nodului și prospețimea cererii, prevenind atacurile de replay. Token-urile utilizează secrete partajate între noduri sau sunt derivate dintr-o infrastructură de chei gestionată descentralizat. Comunicarea în rețea utilizează TLS (Transport Layer Security).

Integritatea datelor: Hashing-ul criptografic asigură integritatea jurnalului de evenimente. Fiecare eveniment include un hash al conținutului său și se leagă la hash-ul evenimentului anterior (prev_hash), creând un lanț evident împotriva manipulării (tamper-evident chain), similar blockchain-urilor [9]. Dacă datele sunt alterate, hash-urile nu se potrivesc la verificare. Funcțiile hash sigure precum SHA-256 oferă protecție puternică [9]. Lanțurile hash permit detectarea rapidă a divergenței sau manipulării în timpul sincronizării. Pentru scalabilitate, arborii Merkle (Merkle trees) sau lanțurile hash multi-cale (multi-path hash chains) [10] pot verifica eficient seturi mari de evenimente prin agregarea hash-urilor, similar cu Infrastructura de Semnătură Fără Cheie (Keyless Signature Infrastructure - KSI) [10].

Confidențialitate: Se utilizează practici standard de criptare. Câmpurile sensibile pot fi criptate în repaus (at rest). Canalele sigure protejează datele în tranzit (in transit). Accesul bazat pe roluri limitează vizibilitatea datelor. Confidențialitatea poate fi îmbunătățită prin stocarea locală doar a informațiilor trunchiate despre entitățile inter-sucursale.

Încredere și securitate multi-părți: Sucursalele sunt considerate parteneri semi-încezători (semi-trusted peers) în cadrul aceleiași organizații, dar arhitectura trebuie să protejeze împotriva nodurilor compromise sau amenințărilor interne. Mecanismele de audit distribuite pot detecta anomaliile în modelele de evenimente sau hash-urile de integritate. Evenimentele atribuite (ID utilizator, timestamp, ID birou) fac acțiunile malițioase trasabile. Lanțurile hash ajută la rezolvarea disputelor prin identificarea divergenței.

Mecanismele criptografice (lanțuri hash, token-uri [8]) și controlul accesului asigură integritatea și încrederea datelor, chiar și cu consistență eventuală și lucru offline, menținând o singură sursă de adevăr verificabilă la sincronizare.

Sincronizarea evenimentelor și gestionarea conflictelor

Când o sucursală se reconectează, își sincronizează jurnalul de evenimente. Procesul gestionează evenimente în afara ordinii (out-of-order), actualizări conflictuale concurente și evenimente anulate/corectate folosind evenimente automate de rezolvare a conflictelor.

Evenimente în afara ordinii: Cauzate de latență sau perioade offline [11]. Gestionate folosind timestamp-uri/vectori. Un eveniment care sosește după cele mai noi poate fi aplicat retroactiv prin redarea (replaying) sa la poziția corectă și reaplicarea evenimentelor ulterioare. Acest lucru poate implica o *reconstrucție a agregatului* (aggregate rebuild): anulare la o stare anterioară evenimentului, inserarea acestuia și redarea evenimentelor ulterioare. Un eveniment AggregateRebuilt marchează acest lucru.

Detectarea conflictelor: Apare când evenimente din sucursale diferite afectează aceleași date concurent (de ex., editarea aceluiași record de client) sau încalcă regulile de afaceri (de ex., aprobare/respingere conflictuală a împrumutului). Detectat în timpul unui pas de validare pe nodul receptor, care verifică constrângerile față de starea curentă. Un conflict există dacă evenimentul nu poate fi aplicat curat (de ex., condiție încălcată).

Rezolvarea automată a conflictelor: Strategiile includ îmbinarea automată (pentru cazuri simple precum adăugarea de note paralele) sau anularea/înlocuirea evenimentului. Se prioritizează evitarea pierderii de date prin utilizarea meta-evenimentelor compensatorii: EventReverted, EventReplaced, EventIgnored [6]. Acestea sunt generate de mecanismul de rezoluție (care poate rula local, pe un nod coordonator temporar sau prin consens) cu motive atașate.

- *EventReverted(ev, reason):* Anulează evenimentul ev. Utilizat când un eveniment intră în conflict direct cu altul (de ex., "ultima scriere câștigă" sau precedență bazată pe politici). Anularea utilizează valorile vechi stocate în evenimente [6].
- *EventReplaced(original, replacement, reason):* Înlocuiește efectul evenimentului original cu cel al replacement. Utilizat pentru îmbinarea rezultatelor conflictuale, dar valide (de ex., rezolvarea intrărilor duplicate). Procesarea implică anularea original și aplicarea replacement [12].
- *EventIgnored(eventId, office, revertFlag, reason):* Marchează un eveniment pentru a fi ignorat pe un nod, opțional anulându-l dacă a fost deja aplicat (revertFlag=true). Utilizat pentru evenimente irelevante (de ex., actualizare la un împrumut din partiția altei sucursale) [6].

Aceste meta-evenimente sunt înregistrate și propagate, asigurând că toate nodurile ajung la un acord asupra rezoluției. O sucursală află dacă evenimentul său a fost suprascris la primirea evenimentului de rezoluție. Acest lucru realizează consens automat fără curățare manuală, similar unui commit de merge în controlul versiunilor.

Exemplu: Biroul A mărește limita de credit (\$5k->\$6k), Biroul B (offline) o scade (\$5k->\$4k). B se reconectează. Rețeaua/Consensul a procesat evenimentul A (limită=6k). Evenimentul B sosește; condiția (vechi=5k) eșuează. Conflict detectat. Politică: Scăderea

suprascrie creșterea. Mecanismul de rezoluție generează EventReverted(ev1) sau EventReplaced(ev1, ev2). Stare finală: limită=4k peste tot, pista de audit explică rezoluția.

Rezolvarea automată necesită reguli clare de domeniu; revizuirea umană poate fi semnalată pentru cazuri complexe. Mecanismul asigură idempotența și convergența: indiferent de ordine, replicile ajung la aceeași stare finală. Seamănă cu Transformarea Operațională (Operational Transformation) / Tipurile de Date Replicate Fără Conflicte (CRDTs - Conflict-Free Replicated Data Types), dar utilizează logică de rezoluție explicită, specifică domeniului.

Gestionarea anulărilor de evenimente: Anulările sunt evenimente append-only care indică negarea. Handler-ele de evenimente aplică operația inversă folosind valorile vechi/noi stocate [6]. Anulările sunt generate doar când o inversare perfectă este posibilă.

Ordinea operațiunilor de sincronizare:

1. Sucursala trimite evenimente locale către rețea/nodurile peer.
2. Rețeaua/Mecanismul de consens ordonează (dacă e necesar), verifică integritatea, detectează conflicte, generează evenimente de rezoluție.
3. Evenimentele sunt validate și aplicate conform stării agregate/consensului.
4. Rețeaua/Nodurile relevante trimit confirmare (ack) + evenimente noi/de rezoluție către Sucursală.
5. Sucursala aplică evenimentele primite. Acest lucru asigură acordul eventual.

Evenimentele ca monedă de sincronizare simplifică reconcilierea comparativ cu diferențierea stărilor (state diffing).

Studii de caz/scenarii

A. Actualizări concurente de împrumut (scenariu rezolvare conflict):

Împrumutul L100 (Biroul 1) este "În Așteptare". Biroul 1 devine offline, respinge L100 (LoanStatusChanged(..., new=Rejected, old=Pending) [6]). Biroul 2 (online) aprobă L100 (LoanStatusChanged(..., new=Approved, old=Pending) [6]), se sincronizează cu rețeaua. Biroul 1 se reconectează, trimite evenimentul Rejected către rețea. Rețeaua/Consensul deja procesase evenimentul Approved. Conflict: Evenimentul Rejected așteaptă "În Așteptare", dar starea agreată este "Aprobat". Politică: Aprobarea managerului (Biroul 2) suprascrie. Mecanismul de rezoluție generează EventReverted pentru evenimentul Rejected al Biroului 1. Starea globală rămâne Aprobat. Biroul 1 primește evenimentul Approved și EventReverted pentru respingerea sa. Biroul 1 aplică Approval, notează că respingerea sa a fost anulată. Stare finală: L100 este Aprobat peste tot, cu pistă de audit completă. Consistența eventuală realizată prin rezoluție automată.

B. Tranzacție reversibilă (scenariu anulare):

Casierul de la Biroul 3 introduce greșit o retragere de \$200 (PaymentAdded). Realizează eroarea, emite comanda "Anulare". Sistemul creează EventReverted(oldPaymentEvent) [6]. Jurnalul local primește evenimentul de anulare; soldul recalculat (+\$200). Se sincronizează cu rețeaua: PaymentAdded original + EventReverted rezultă într-o modificare netă nulă în starea globală. Rețeaua difuzează evenimentele relevante. Consistență globală: retragerea de \$200 este anulată, istoricul păstrat. Casierul introduce retragerea corectă de \$100 (PaymentAdded), sincronizează normal. Sold final corect, pistă de audit completă există. Demonstrează responsabilitatea și capacitatea de corecție offline.

Aceste cazuri arată integritatea și disponibilitatea menținute prin rezolvarea conflictelor și evenimente reversibile.

Concluzii

A fost prezentată o arhitectură sigură și flexibilă pentru sisteme financiare descentralizate folosind CQRS și event sourcing. Permite operarea offline-first pe sucursală, asigurând în același timp consistența eventuală. Jurnalele imuabile cu lanțuri hash criptografice [9] oferă evidență împotriva manipulării (tamper-evidence) și auditabilitate. Partiționarea logică minimizează

conflictele. Rezolvarea automată a conflictelor prin evenimente compensatorii [6] asigură convergența. Reversibilitatea păstrează istoricul și explică tranzițiile de stare [1].

Securitatea este multi-stratificată: control al accesului bazat pe roluri (RBAC), autentificare nod bazată pe token [8] și protecție criptografică a integrității [9, 10]. Acest lucru realizează disponibilitate ridicată (operare offline) și integritate/consistență eventuală a datelor. Sistemul echilibrează flexibilitatea modelelor P2P slab consistente [2] cu rigiditatea sistemelor puternic consistente. Utilizatorii pot lucra offline cu încredere, știind că modificările se vor reconcilia corect.

Lucrările viitoare includ explorarea consensului sofisticat pentru jurnalul master agregat (pentru a gestiona toleranța la defecțiuni și noduri malițioase), straturi de audit bazate pe blockchain (unde hash-ul jurnalului master agregat este ancorat periodic), optimizări de performanță precum crearea de instantanee (snapshotting) [5] și fluxuri de lucru mai complexe pentru rezolvarea conflictelor.

Arhitectura demonstrează că o abordare descentralizată, bazată pe event sourcing, poate îndeplini cerințele stricte ale sistemelor informaționale financiare, permițând colaborarea securizată între mai multe sucursale fără conectivitate constantă sau puncte unice de eșec, și fără a se baza pe o singură entitate centrală în timpul rulării. Oferă o cale către sisteme mai reziliente și mai de încredere pentru diverse domenii care necesită consistență descentralizată a datelor și securitate robustă.

Referințe

1. ABU-LIBDEH, H.; VAN RENESSE, R.; VIGFUSSON, Y. Leveraging Sharding in the Design of Scalable Replication Protocols. Cornell University. 2019.
2. DAVOUST, A.; CRAIG, A.; ESFANDIARI, B.; KAZMIERSKI, V. P2Pedia: a peer-to-peer wiki for decentralized collaboration. Carleton University. 2018.08-transaction-management.pdf
3. GARZA, J.F.; KIM, W. TRANSACTION MANAGEMENT IN AN OBJECT-ORIENTED DATABASE SYSTEM. Microelectronics and Computer Technology Corporation. 2010.
4. Event Sourcing pattern - Azure Architecture Center | Microsoft Learn (<https://learn.microsoft.com/en-us/azure/architecture/patterns/event-sourcing>)
5. Pattern: Event sourcing (<https://microservices.io/patterns/data/event-sourcing.html>)
6. Improving observability in Event Sourcing systems (https://www.researchgate.net/publication/352267210_Improving_observability_in_Event_Sourcing_systems)
7. Understanding database schema evolution (https://www.researchgate.net/publication/268079906_Understanding_database_schema_evolution_A_case_study)
8. JEONG, Y.-S.; KIM, Y.-T. A token-based authentication security scheme for Hadoop distributed file system using elliptic curve cryptography.
9. ANWAR, M.R.; APRIANI, D.; ADIANITA, I.R. Hash Algorithm In Verification Of Certificate Data Integrity And Security. 1University of Agriculture Faisalabad (UAF).2021.
10. RA, G. A Study on Secure and Efficient KSI System based on Multi Path Hash Chain with Universal Hashing Function. 2017.
11. ZHOUA, C.; MENGA, X.; CHENB, Y. Out-of-order durable event processing in integrated wireless networks. Renmin University of China. 2011.
12. ATAELI, P.; STAEGEMANN, D. Application of microservices patterns to big data systems. Journal of Big Data 10(1). 2023.

CVASIUCDSL

Vladlen MÎȚU, Filip OBRIJAN, Dmitrii CVASIUC, Nichita GANCEAR

Departamentul de Inginerie Software și Automatizări, grupa FAF-232, Facultatea de Calculatoare, Informatică și Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

*Corresponding Author: Vladlen Mîțu, vladlen.mitu@isa.utm.md

Tutor/Cordonator: Dumitru CREȚU, asistent universitar, Departamentul Inginerie Software și Automatizări, Facultatea de Calculatoare, Informatică și Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

Abstract. *CvasiucDSL: Un DSL pentru 2D figuri prezintă un limbaj de scripting intuitiv pentru crearea și modificarea figurilor geometrice 2D. Destinat studenților, proiectanților și inginerilor, CvasiucDSL simplifică definirea și îmbunătățirea formelor cu proprietăți precum mediane și raze. De asemenea, acceptă comenzi precum buclele și funcțiile, ceea ce îl face potrivit pentru sarcini educaționale și de prototipare. Proiectul include un interpret și un compilator personalizat pentru a procesa comenzile și a genera rezultate vizuale, demonstrând modul în care limbajele specifice domeniului pot spori accesibilitatea, eficiența și învățarea în domenii axate pe geometrie.*

Key words: *dsl, figure geometrice, comenzi, învățare*

Introducere

Pe măsură ce tehnologia avansează și transformă modul în care interacționăm cu lumea, sarcina odinioară anevoioasă de a crea și manipula figuri geometrice 2D este reinventată prin instrumente inovatoare precum CvasiucDSL. Acest limbaj specific unui domeniu (Domain-Specific Language), dezvoltat de studenți ai Universității Tehnice a Moldovei, promite să simplifice proiectarea geometrică, făcând-o accesibilă unui public larg — de la elevi și cadre didactice, până la ingineri și artiști. Totuși, dincolo de sintaxa sa intuitivă se află un cadru puternic care răspunde provocărilor complexe ale uneltelor de proiectare tradiționale, oferind o nouă modalitate de a îmbina creativitatea cu precizia.

Atractivitatea CvasiucDSL constă în capacitatea sa de a eficientiza procesul de definire și vizualizare a formelor geometrice — precum triunghiuri, cercuri sau dreptunghiuri — fără pantele abrupte de învățare ale software-urilor CAD convenționale sau complexitatea codării din limbajele de programare generaliste. Instrumentele actuale fie copleșesc utilizatorii cu opțiuni complicate, fie limitează funcționalitatea, lăsând un gol pentru cei care caută o soluție eficientă, dar ușor de utilizat.[1] În contrast, CvasiucDSL le oferă utilizatorilor posibilitatea de a se concentra pe designul propriu-zis, folosind o sintaxă clară și ușor de citit pentru a da viață ideilor cu un efort minim.

În centrul acestui proiect se află provocările pe care își propune să le abordeze — obstacole care au îngreunat de mult timp proiectarea geometrică în diverse domenii. Imaginează-ți un elev care se chinuie să vizualizeze transformări geometrice sau un inginer care are nevoie rapid de un prototip, fără a se încurca în software-uri greoaie. CvasiucDSL abordează aceste probleme prin feedback în timp real, comenzi simplificate pentru operații precum rotația sau scalarea, și suport pentru construcții avansate precum mediane și bisectoare. Această combinație de simplitate și funcționalitate face din CvasiucDSL un instrument versatil atât pentru învățare, cât și pentru aplicații profesionale.

Dincolo de aspectele sale tehnice, CvasiucDSL aduce în discuție teme mai largi legate de accesibilitate, eficiență și incluziune în procesul de design. Cine beneficiază de pe urma unui

instrument care reduce barierele financiare și tehnice? Elevii din medii cu resurse limitate, designerii care lucrează cu bugete restrânse sau profesorii care caută metode interactive de predare? Cum ne asigurăm că astfel de inovații ajung la utilizatori diverși fără a adânci diferențele existente? Aceste întrebări subliniază potențialul proiectului de a democratiza designul geometric, transformându-l într-o soluție practică și echitabilă pentru o audiență globală.

În acest document, pornim într-o explorare a CvasiucDSL, analizând dezvoltarea sa, funcționalitățile oferite și impactul pe care îl poate avea în educație, inginerie și dincolo de acestea. Prin examinarea designului și aplicațiilor sale, ne propunem să înțelegem cum depășește limitările instrumentelor existente și deschide calea spre o abordare mai intuitivă și mai incluzivă a proiectării geometrice 2D. Pe măsură ce parcurgem acest drum, CvasiucDSL se conturează ca o dovadă a modului în care tehnologia, ghidată de inovație conștientă, poate să le ofere utilizatorilor puterea de a crea, învăța și inova într-un mod atât avansat, cât și accesibil.

Structura pe componente pentru lexer și parser:

Componenta de analiză lexicală (lexer) a CvasiucDSL primește ca intrare un fișier de script și împarte conținutul în secvențe de caractere denumite tokeni (de exemplu: identificatori, numere, simboluri de operație precum `rotate`, `scale`, punctuație și paranteze). Lexer-ul este implementat în Python utilizând expresii regulate optimizate pentru a detecta rapid modele de text și pentru a gestiona comentarii și spații albe. [2]

Parser-ul construiește apoi un arbore de sintaxă abstractă (AST) pe baza tokenilor furnizați. Pentru aceasta, CvasiucDSL folosește o gramatică LL(1) personalizată, adaptată specific pentru comenzile de desen geometric. Fiecare regulă de producție corespunde unei structuri de comandă (ex.: `circle`, `triangle`, `line`), cu validare de tip și verificare a erorilor de sintaxă. În caz de eroare, utilizatorul primește un mesaj explicit, indicând linia și natura problemei, pentru a facilita debugging-ul rapid.

Motorul de redare 2D:

Motorul de redare combină interpretarea AST-ului cu un backend grafic bazat pe biblioteca Cairo (sau, opțional, PyGame pentru modul interactiv). Fiecare nod din arbore generează un set de instrucțiuni de desen (de exemplu, `move_to(x, y)`, `line_to(x, y)`, `arc(x, y, radius)`). Aceste instrucțiuni sunt transformate în comenzi pe suprafața de desen, permițând suprapunerea obiectelor, setarea culorilor și a grosimii conturului. [3]

Pentru optimizarea performanței, motorul implementează o etapă de batch drawing, în care mai multe obiecte cu proprietăți similare (culoare, grosime linie) sunt procesate concomitent. De asemenea, redarea în timp real este asigurată printr-un buffer dublu, evitând flicker-ul și asigurând o actualizare fluentă a scenei atunci când utilizatorul modifică parametri în bucle sau funcții.

Tabelul 1

Common Errors

Error Type	Description
Undefined Shape	Attempting to transform a shape that has not been defined.
Invalid Coordinates	Using non-numeric values or malformed coordinates.
Division by Zero	Division by Zero Occurs when scaling with a factor of zero.
Infinite Loops	Using while loops without a valid exit condition
Syntax Errors	Incorrect grammar usage, such as missing brackets or misspelled keywords

Tabelul prezintă o clasificare clară a potențialelor erori care pot apărea în utilizarea unui limbaj de scripting pentru figuri 2D, împreună cu explicațiile aferente. Prima categorie include erorile legate de forme nedefinite, care apar atunci când se încearcă transformarea unui obiect geometric ce nu a fost anterior declarat sau desenat. O astfel de acțiune poate duce la confuzie

logică și la întreruperea procesului de interpretare. Alături de aceasta, folosirea unor coordonate invalide — fie valori non-numerice, fie un format incorrect — poate afecta plasarea corectă a obiectelor în spațiul 2D și este considerată o greșeală gravă ce trebuie tratată prin validări riguroase.

O altă eroare identificată este divizarea la zero, întâlnită în special în operații de scalare unde un factor de mărire zero ar genera rezultate imposibil de interpretat. Această situație necesită blocarea execuției și afișarea unui mesaj explicit de eroare. În plus, tabelul atrage atenția asupra riscului generat de buclele infinite, în special cele de tip `while`, care nu conțin o condiție clară de oprire. Astfel de erori pot duce la blocarea completă a procesului de interpretare sau la supraîncărcarea resurselor, fiind esențială identificarea și prevenirea lor în faza de analiză a codului.

Ultima categorie din tabel vizează erorile de sintaxă, care includ greșeli comune precum lipsa parantezelor, ordonarea incorectă a elementelor sau scrierea greșită a cuvintelor-cheie. Acestea afectează în mod direct capacitatea parser-ului de a construi arborele de sintaxă abstractă și împiedică interpretarea corectă a comenzilor. Prevenirea și tratarea acestor erori prin mesaje clare și localizarea exactă în script sunt aspecte esențiale pentru o experiență de utilizare intuitivă și eficientă. Tabelul, în ansamblul său, servește ca un ghid practic pentru identificarea celor mai frecvente probleme care pot apărea în procesul de scriere și interpretare a codului geometric.

Figurile esențiale:

Figurile esențiale din geometrie, atât 2D cât și 3D, joacă un rol fundamental în înțelegerea spațiului, construcțiilor matematice și aplicațiilor practice. În geometria 2D, triunghiul și cercul sunt printre cele mai studiate forme: triunghiul, cu cele trei laturi și unghiuri, este baza multor concepte geometrice și trigonometrice, în timp ce cercul definește ideea de simetrie și distanță constantă față de un centru.[4] În spațiul 3D, cubul și sfera sunt figuri de bază cu aplicații în arhitectură, design și științe exacte.

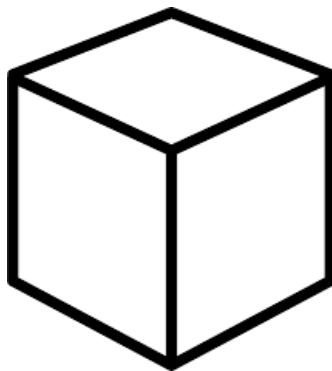


Figura 1. Cubul

Ecuatii și formule

Cel mai esențială ecuații din geometria tridimensională și definește volumul unui cub.

$$V = a^3$$

Ecuția exprimă volumul unui cub, trece printr-un proces interesant atunci când este folosită în cadrul software-ului CvasiucDSL. Totul începe atunci când utilizatorul scrie o comandă precum `volume(cube, a)` în editorul limbajului. Această comandă este „citită” de componenta numită **lexer**, care are rolul de a recunoaște cuvintele importante din text – cum ar fi „volume”, „cube” și valoarea „a”. Ele sunt apoi transformate în elemente de bază numite „tokeni”, asemenea pieselor de puzzle care urmează să fie asamblate. După această etapă,

comanda ajunge la **parser**, un alt modul din software care se asigură că totul e scris corect, ca într-o propoziție cu subiect și predicat. Dacă totul este în regulă, parser-ul construiește un mic „copac” logic (numit **arbore de sintaxă**) care arată cum este structurată comanda.

Acolo, ecuația este recunoscută ca o operație de ridicare la putere, iar interpretul intern o execută și obține volumul cubului, pe baza valorii „a” oferite.

În final, rezultatul poate fi afișat direct sau poate fi folosit pentru a desena un cub pe ecran, cu ajutorul **motorului grafic** al programului. Dacă, de exemplu, utilizatorul a specificat și o reprezentare vizuală, cubul va fi desenat proporțional cu volumul său.

În plus, dacă apare o greșală — cum ar fi valoarea „a” fiind zero — programul știe să oprească execuția și să afișeze un mesaj clar, pentru a evita confuziile. Tot acest proces arată cum o simplă formulă matematică prinde viață în mod automatizat și vizual, datorită limbajului intuitiv CvasiucDSL.

Simboluri, notații și unități de măsură

Pentru a asigura o utilizare clară și consecventă a comenzilor în CvasiucDSL, este important să înțelegem simbolurile și notațiile folosite în limbaj, precum și unitățile implicite de măsură.

Simboluri matematice:

+, -, *, / – operații aritmetice de bază (adunare, scădere, înmulțire, împărțire)

^ – ridicare la putere (ex. a^3 pentru volum de cub)

= – atribuire de valoare unei variabile

==, !=, <, >, <=, >= – comparații în expresii condiționale

() – paranteze pentru gruparea expresiilor

Notații geometrice și scriptice:

point(x, y) – definește un punct în plan

circle(center, radius) – creează un cerc

line(p1, p2) – linie între două puncte

rotate(shape, angle) – aplică o rotație

scale(shape, factor) – aplică o scalare

color(shape, "red") – aplică o culoare

draw(shape) – afișează forma

CvasiucDSL folosește simboluri și notații matematice standard pentru a exprima clar operațiile și transformările geometrice. Limbajul a fost conceput pentru a fi intuitiv, astfel încât chiar și utilizatorii începători să poată înțelege și folosi comenzile fără dificultate. Unitățile de măsură implicite includ pixeli pentru poziționarea și dimensiunea formelor, respectiv grade pentru efectuarea rotațiilor. Această uniformitate în notații și unități contribuie la o experiență de utilizare coerentă și precisă, atât în procesul de învățare, cât și în aplicații practice.

Concluzii

În concluzie, impactul tehnologiei asupra societății a fost profund și multifacetic. Pe de o parte, tehnologia a revoluționat comunicarea, făcând-o mai rapidă și mai accesibilă ca niciodată. De asemenea, a democratizat accesul la informație, împuternicind indivizii și promovând conectivitatea globală. Mai mult decât atât, tehnologia a sporit semnificativ productivitatea în diverse sectoare, ducând la creștere economică și la apariția de noi industrii și oportunități de muncă. Aceste beneficii au transformat modul în care trăim și lucrăm, oferind un potențial enorm pentru progres.

Cu toate acestea CvasiucDSL demonstrează clar cum un limbaj specific domeniului poate transforma fundamental modul în care gândim, proiectăm și predăm concepte geometrice. Spre deosebire de soluțiile tradiționale greoaie, limbajul propus reușește să îmbine eleganța sintactică cu funcționalitatea practică, oferind utilizatorilor posibilitatea de a crea și manipula figuri geometrice 2D cu o ușurință remarcabilă. Această accesibilitate are implicații majore în mediul educațional, unde elevii și studenții pot învăța geometria nu doar pasiv, din teorie, ci activ — prin interacțiune, experimentare și feedback vizual imediat. În acest fel, CvasiucDSL nu este doar un instrument de desen, ci un facilitator al învățării intuitive, reducând barierele dintre abstract și concret.

Pe plan tehnic, proiectul se remarcă printr-o arhitectură coerentă și modulară, care îmbină analiza lexicală și sintactică riguroasă cu un motor de randare performant. Alegerea unei gramatici LL(1) personalizate și a unei biblioteci grafice precum Cairo arată un echilibru bine gândit între flexibilitate și eficiență, oferind atât robustețe în interpretarea comenzilor, cât și performanță în afișarea scenelor geometrice. Funcționalitățile precum desenul în batch, actualizarea în timp real și tratarea erorilor în mod explicit transformă CvasiucDSL într-un sistem matur, cu potențial real de extindere și integrare în aplicații mai complexe sau platforme educaționale. Astfel, proiectul depășește granițele unui simplu limbaj de scripting și se apropie de statutul unui mediu de dezvoltare complet pentru geometrie 2D.

Din punct de vedere social, inițiativa are un impact semnificativ în ceea ce privește democratizarea accesului la unelte de proiectare geometrică. Într-un context în care resursele software educaționale de calitate sunt fie costisitoare, fie greu de utilizat pentru începători, CvasiucDSL oferă o alternativă gratuită, intuitivă și ușor de personalizat. Aceasta poate sprijini școlile din medii defavorizate, profesorii care caută metode vizuale de predare sau tinerii pasionați de tehnologie, dar lipsiți de resurse. În același timp, limbajul promovează incluziunea, oferind tuturor oportunitatea de a învăța și crea, indiferent de nivelul de cunoștințe anterioare sau de accesul la tehnologii avansate.

În cele din urmă, CvasiucDSL deschide ușa unor perspective viitoare promițătoare. Extinderea suportului pentru figuri 3D, integrarea cu platforme web, sau adăugarea unei interfețe grafice prietenoase ar putea transforma acest proiect dintr-un prototip academic într-un produs educațional larg adoptat. În plus, dezvoltarea unei comunități în jurul limbajului — formată din educatori, studenți și dezvoltatori — ar putea duce la o evoluție organică a funcționalităților, bazată pe nevoi reale. Prin urmare, CvasiucDSL nu este doar o realizare tehnică remarcabilă, ci un exemplu de inovație orientată spre impact social, educațional și tehnologic, care ilustrează perfect potențialul limbajelor specifice domeniului în era digitală.

Referințe

1. BUHR, R. J. A., et al. "Software CAD: A Revolutionary Approach." *IEEE Transactions on Software Engineering*, vol. 15, no. 3, Mar. 1989, pp. 235–49. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1109/32.21752>.
2. GERGOVSKIJ, O., et al. "Information Technologies in Geometric Modeling of Technical Objects." *Proceedings of the Tavria State Agrotechnological University*, vol. 20, no. 3, 2020, pp. 218–30. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.31388/2078-0877-2020-20-3-218-230>.
3. DA SILVA, S.; ALAN, W., VRANKEN, W. F. "ACPYPE - AnteChamber PYthon Parser interfacE." *BMC Research Notes*, vol. 5, no. 1, Dec. 2012, p. 367. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1186/1756-0500-5-367>.
4. DA SILVA, S.; ALAN, W., VRANKEN, W. F. "ACPYPE - AnteChamber PYthon Parser interfacE." *BMC Research Notes*, vol. 5, no. 1, Dec. 2012, p. 367. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1186/1756-0500-5-367>.

LIDAR DATA AND SATELLITE IMAGE PROCESSING PLATFORM FOR GEOSPATIAL ANALYSIS

Anastasia CUNEV, Irina RACOVCEA*

Software Engineering and Automatics Department, FAF-211, FAF-212, Faculty of Computers, Informatics and
Microelectronics, Technical University of Moldova, Chişinău, Moldova

*Corresponding author: Irina Racovcea, irina.racovcea@isa.utm.md

Scientific coordinator: Irina COJUHARI, conf. univ., dr, Technical University of Moldova

Abstract. *This article presents a LIDAR drone and satellite image processing platform for analyzing terrain changes over time and visualizing them through 2D and 3D mapping. Designed for performing geospatial analysis by experts and non-experts, allows users to upload dataset of required location or use NASA and Copernicus data, detect environmental changes using topographic comparison and create DEM Terrain plots. Developed in order to shrink the gap between technical complexity and daily accessibility adapted for needs of different types of users. By providing a comprehensive, scalable, and efficient solution for land assessment and environmental monitoring, this platform contributes to better decision-making in areas that rely on accurate geospatial intelligence such as urban planning, disaster risk assessment and environmental monitoring.*

Key words: *Geospatial analysis, LIDAR, Satellite, Mapping, Terrain, Change detection.*

Introduction

The ability to track and examine changes in the Earth's surface has greatly increased in recent years thanks to the combination of satellite remote sensing and drone-based LiDAR (Light Detection and Ranging). Applications including urban development, environmental monitoring, land use analysis, and disaster risk management now depend heavily on these technologies. However, the intricacy of data processing procedures, the need for specialist software, and the challenging learning curves have made geospatial analysis inaccessible to non-expert users.

This study presents a web-based, modular platform that combines the advantages of multispectral satellite images and drone-acquired LiDAR to democratize access to high-resolution geospatial research. The platform allows users to create Digital Elevation Models (DEMs), detect changes in the landscape, and show the results in both 2D and dynamic 3D maps. Users can also upload images or use public sources like NASA Earthdata and the Copernicus Sentinel program.

The platform fills a significant gap in current geospatial tools by simplifying data ingestion, processing, and visualization into an easy-to-use and scalable solution. This platform offers a novel step toward real-time, affordable, and user-friendly terrain intelligence by utilizing open-source libraries and contemporary web technologies.

Domain Analysis

With the advent of multispectral satellite imagery and high-resolution LiDAR data, the area of geospatial analysis has grown quickly. Environmental monitoring and thorough terrain assessments may now be carried out at a scale and accuracy never before possible thanks to these technologies. Their efficient usage, however, frequently necessitates a high level of technical proficiency, specialized software, and disjointed workflows that are difficult for non-expert users to access.

In the past, users had to handle satellite pictures and raw LiDAR point clouds independently, frequently using a mix of manual data alignment, command-line tools, and GIS applications. For users without a background in geospatial analysis, this made tasks like creating digital elevation models, tracking environmental changes, and detecting terrain deformation time-consuming and challenging. The difficulty was further compounded by the requirement to integrate datasets from various sources and time periods [1].

This implies that when trying to glean relevant insights from geospatial data, environmental researchers, urban planners, disaster response teams, and even agricultural analysts frequently encounter a steep learning curve and long processing periods.

Many of the fundamental geospatial workflows are automated by the suggested platform, which offers a streamlined and scalable solution to this problem. It lets users obtain publicly available satellite images from sources like NASA or Copernicus or upload LiDAR images. It then streamlines the processing, comparison, and visualization of these datasets [2].

Managing the vast amount of high-resolution LiDAR and satellite data is one of the biggest obstacles in this field. To preserve usability and performance, effective processing, storage, and visualization strategies are crucial. Furthermore, it is important to guarantee the geographic accuracy of comparative analyses, particularly when identifying variations in the terrain over time.

System Modeling and Design

The platform is a modular system that combines interactive visualization, geographic analysis, and data processing in a single setting. Its architecture is made of a frontend interface for user interaction and visualization, a backend processing engine, and a scalable deployment mechanism that guarantees responsiveness and dependability even with big datasets.

Python and FastAPI were chosen for the development of the backend due to their efficiency and adaptability in creating contemporary APIs. This part is in charge of coordinating data processing operations, handling user requests, and interacting with outside data sources. It incorporates essential geospatial libraries like OpenCV for image-based analysis, PDAL for managing LiDAR point clouds, and GDAL for processing raster data. To effectively store and access geospatial data, the system additionally makes use of PostgreSQL with the PostGIS extension. This makes it possible to perform accurate spatial operations that are crucial for topographic analysis, like terrain comparison, elevation profiling, and bounding box filtering [2].

The backend has interfaces to various satellite data sources like NASA Earthdata and the Copernicus Open Access Hub to further increase the platform's usefulness [3]. By providing time ranges and coordinates, these connections enable users to automatically access pertinent images without requiring them to manually download or preprocess data from outside the site.

React, a JavaScript package ideal for creating dynamic and interactive user interfaces, is used to develop the frontend. RESTful API endpoints are used for backend communication, and sophisticated visualization tools are used to display data. Users can explore geography in an interactive globe environment by using CesiumJS to render 3D geographical data. In order to render complicated datasets like point clouds, elevation grids, and NDVI visualizations smoothly in the browser, Deck.gl is utilized for high-performance 2D and 3D overlays.

Docker facilitates deployment, guaranteeing uniformity across development and production environments. The platform's database, frontend, processing services, and API are all containerized, allowing for quick deployment and horizontal scaling.

Implementation and Functionality

The main goal of the geospatial analysis platform's implementation is providing a comprehensive workflow for identifying terrain changes, creating elevation models, and visualizing geospatial phenomena in both 2D and 3D contexts. The application, which is intended for both technical and non-technical users, makes high-resolution environmental

intelligence widely available by encapsulating complicated processing algorithms behind a clear and user-friendly interface.

Users have two main choices when they first visit the platform: either choose public datasets from integrated satellite and LiDAR data sources or upload their own images. In addition to information from NASA's Earthdata and other publicly available geospatial sources, the system supports Sentinel-2 images, which is especially helpful for NDVI calculation.

The backend starts a processing pipeline that includes format conversion, coordinate transformation, and data normalization as soon as data is uploaded or retrieved. The platform employs gridding methods to create Digital Elevation Models (DEMs) from LiDAR data and uses PDAL to extract ground points. To extract spectral bands, produce NDVI indices, or produce hillshaded terrain maps, raster data, such as satellite imagery, is processed using GDAL.

After processing, the findings are put into a database and made available to the frontend through API endpoints. Users can upload their LiDAR images and see the administrative region where the picture was taken.

To conduct comparison analysis, users can interactively choose regions of interest or time periods. Users can then see the elevation changes and construct the digital elevation model for the region they have chosen.

The platform's NDVI analysis, which tracks the health of the vegetation, is another important function. Users can see the NDVI change for a specific region provided by satellite imagery taken at various times.

The platform offers a reliable and expandable tool for examining changes in the terrain and surroundings over time thanks to this implementation.

The following function implements the NDVI formula, which quantifies vegetation health by comparing near-infrared and red reflectance values. The small constant prevents division by zero.

```
def compute_ndvi(red: float, nir: float) -> float:
    return (nir - red) / (nir + red + 1e-6)
```

The function below detects significant changes in time-series NDVI data using the PELT algorithm from the ruptures library. It identifies moments when abrupt shifts in vegetation dynamics occur, which is useful for detecting events like land clearing, droughts, or seasonal transitions.

```
def detect_breakpoints(signal: np.ndarray) -> List[int]:
    model = rpt.Pelt(model="rbf").fit(signal)
    return model.predict(pen=5)[-1]
```

The following API endpoint reverse-geocodes a geographic coordinate using OpenStreetMap's Nominatim service and returns the enclosing administrative boundary in GeoJSON format. This enhances spatial context for the user's point of interest and supports location-aware visualizations and reporting.

```
@router.get("/boundary", response_model=GeoJSON)
async def get_boundary(lat: float, lon: float):
    url = "https://nominatim.openstreetmap.org/reverse"
    params = {"format": "jsonv2", "lat": lat, "lon": lon,
"polygon_geojson": 1}
    headers = {"User-Agent": "GeoVision/1.0"}
    async with httpx.AsyncClient() as client:
        resp = await client.get(url, params=params, headers=headers)
```


Results

Figure 1 shows the elevation of the terrain in a specific point, chosen by the user. User can also choose time and see the comparison of the earth surface at specific periods of time and the elevation change from 2000 to 2020

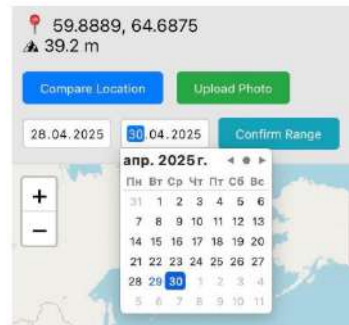


Figure 1. Elevation Calculation

In figure 2 are represented the administrative boundaries of the LiDAR image inserted by the user and the NDVI change from 2020 to 2021.

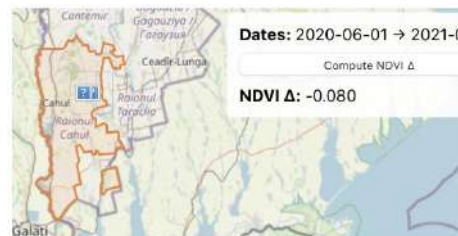


Figure 2. Boundaries Detection and NDVI Calculation

Conclusion

In order to process LiDAR and satellite imagery for uses including vegetation monitoring, terrain change detection, and 3D mapping, this study offered a scalable and easily available geospatial analysis platform. A comprehensive process for data gathering, analysis, and visualization is offered by the system by utilizing open datasets like Sentinel-2 and including technologies like GDAL, PDAL, and CesiumJS.

The platform's ability to abstract intricate geospatial processes into user-friendly API endpoints is one of its main advantages. It enables both professionals and non-specialists to carry out sophisticated studies including breakpoint recognition, DEM production, and NDVI tracking. While a modular backend design facilitates effective and scalable deployments, the utilization of contemporary web technologies guarantees interaction.

Acknowledgments. This work has been funded by the Moldavian Ministry of Education and Research project “Satellite systems and platform for monitoring plantations and aquatic surfaces using space and drone technologies”, code 020401.

References

1. “Geospatial Analytics Definition.” HEAVY.AI. Accessed: May. 7, 2025. [Online]. Available: <https://www.heavy.ai/technical-glossary/geospatial-analytics>
2. “LiDAR: An Introduction to Light Detection and Ranging Technology.” REVOLVE.AI. Accessed: Mar. 7, 2025. [Online]. Available: <https://revolveai.com/what-is-lidar-technology/>
3. MAPBOX. *What is Satellite Imagery?* Accessed: Feb. 28, 2025. [Online]. Available: <https://www.mapbox.com/insights/satellite-imagery>

ALTERNATIVES TO THE IEEE STANDARD FLOATING-POINT REPRESENTATION

Victor GAFENCO*, Gabriel BALAN, Daniel MOISEI

¹Department of Software Engineering and Automation, group FAF - 241, Faculty of Computers, Informatics, and Microelectronics, Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova

*Corresponding author: Victor Gafenco, email victor.gafenco@isa.utm.md

Tutor/coordinator: Elena COJUHARI, Associate Professor at the Department of Mathematics, Technical University of Moldova

Abstract. The IEEE-754 floating-point standard is widely used, but alternatives like Posit, Logarithmic Number System (LNS), and Fixed-Point offer advantages in accuracy, efficiency, and range. Posit improves precision and reduces power and area consumption but faces challenges with numerical cancellations. LNS simplifies multiplication and division but complicates addition and subtraction. Fixed-point enhances efficiency in embedded systems but limits range and precision. Benchmarks on AxBench, OpenBLAS, and neural networks highlight trade-offs in performance. As computing demands evolve, these alternatives present promising solutions for deep learning, scientific computing, and low-power systems.

Keywords: computational accuracy, energy-efficient computing, high-performance arithmetic, numerical precision, unconventional number systems.

Introduction

The IEEE-754 floating-point standard has been the dominant numerical representation in computing for decades. However, it faces challenges such as precision loss, inefficiency in hardware, and high power consumption. As computing demands evolve, alternative number systems like Posit arithmetic, the Logarithmic Number System (LNS), and Fixed-Point representation have gained attention for their potential improvements.

Posits offer greater precision and dynamic range with fewer special cases [1]. LNS accelerates multiplication and division but complicates addition and subtraction [2]. Fixed-point arithmetic enhances efficiency in embedded systems but sacrifices flexibility [3]. Despite these advantages, the ideal alternative remains debated.

This paper evaluates these number systems through benchmarking on AxBench, OpenBLAS, and neural networks. By analyzing their accuracy, efficiency, and computational trade-offs, we provide insights into their practical applications and limitations.

POSIT number system [3]

Posit has emerged as an alternative, offering improved accuracy and a larger dynamic range. Its flexible bit allocation allows for efficient precision handling. A fixed-posit approach, where regime and exponent bit sizes remain constant, enhances its practicality. Evaluations on AxBench, OpenBLAS, and neural networks show that fixed-posit multipliers achieve significant power, area, and delay savings—up to 70%, 66%, and 26% compared to IEEE-754—while maintaining minimal accuracy loss (1.2% in benchmarks, 0.12% in ResNet-18) [4].

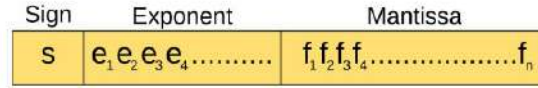
A POSIT number PPP is represented as:

$$(-1)^s \times 1.m \times \text{useed}^k \times 2^e \quad (1)$$

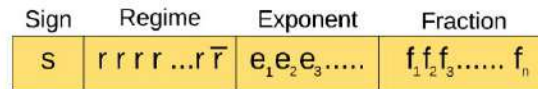
where:

- s is the sign bit (0 for positive, 1 for negative).

- **k** is the regime value, determined by a run-length encoding.
- **useed** = $2^{2^{es}}$, where *es* is the exponent size.
- **e** is the exponent extracted from the exponent field.
- **m** is the fraction (mantissa), representing the remaining bits after regime and exponent.



(a) IEEE-754 representation



(b) Posit representation

Figure 1. IEEE and posit representation [3]

Unlike earlier forms of universal number (unum) arithmetic, posits do not require interval arithmetic or variable size operands; like floats, they round if an answer is inexact [1, 5]**Error! Bookmark not defined..**

Some advantages Posit has include [6]:

1. Higher Precision at the Same Bit-Width
2. No NaN or $\pm$ Infinity - Posits replace these with a well-defined, large numerical value to simplify calculations.
3. Gradual Precision Loss Instead of Sudden Over/Underflow
4. Wider Dynamic Range Without Special Cases
5. Simpler and More Predictable Behavior

However, it's important to keep in mind the disadvantages [7], including:

1. Multiplicative Cancellation Issues - This leads to situations where multiplicative operations may have no meaningful digits in the result, even though the operation itself may be exact
2. Additive Cancellation and Meaningless Digits - Happens when subtracting two nearly equal numbers, causing significant digits to cancel out, leaving a low-precision or meaningless result.
3. Inaccurate Representation of Physical Constants – Physical constants often work with powers 10, however Posit is specifically designed to work with powers of 2 and conversions to the 10^{th} power can lead to loss of accuracy.

Applications

Posit is a really powerful tool that is used in various fields where precision, efficiency, and numerical stability are crucial, like deep learning, neural network, model training, digital image processing, scientific computations, embedded systems and many others [2]. While it is not yet mainstream, it is being actively researched and tested for its potential advantages over IEEE floating-point representation.

Logarithmic Number System [8]

Logarithmic numbers can be viewed as a specific case of floating-point numbers where the mantissa is always 1, and the exponent has a fractional part [9]. The number A has a value of:

$$A = -1^{S_A} \times 2^{E_A} \quad (2)$$

where S_A is the sign bit and E_A is a fixed-point number. The sign bit signifies the sign of the whole number. E_A is a 2's complement fixed point number where the negative numbers represent values less than 1.0. In this way LNS numbers can represent both very large and very small numbers. The logarithmic numbers are kept in the following format:

	S_A	E_A	
flags	Sign	integer	fraction
2 bits	1 bit	K bits	I bits

Figure 2. Format of LNS

Since there are no obvious choices for special values to signify exceptions, and zero cannot be represented in LNS, we decided to use flag bits to code for zero, +/- infinity, and NaN, a similar manner as Detrey's way [10].

If $k = e$ and $l = m$, the LNS has a very similar range and precision as floating-point numbers.

For $k = 8$ and $l = 23$ (single precision equivalent), the range is:

$$\pm 2^{-129+ulp} \text{ to } 2^{128-ulp}, \approx \pm 1.5 \times 10^{-39} \text{ to } 3.4 \times 10^{38}$$

(ulp is unit of least precision).

The double precision equivalent has a range of:

$$\pm 2^{-1025+ulp} \text{ to } 2^{1024-ulp}, \approx \pm 2.8 \times 10^{(-309)} \text{ to } 1.8 \times 10^{308}$$

Thus, we have an LNS representation that covers the entire range of the corresponding floating-point version.

Multiplication

Multiplication becomes a simple computation in LNS. The product is computed by adding the two fixed point logarithmic numbers. This is from the following logarithmic property:

$$\log_2(x \cdot y) = \log_2 x + \log_2 y \quad (3)$$

Division

Division in LNS becomes subtraction due to the following logarithmic property:

$$\log_2\left(\frac{x}{y}\right) = \log_2 x - \log_2 y \quad (4)$$

Addition/Subtraction

The formulation of LNS simplifies the operations of multiplication, division, powers and roots, since they are reduced down to addition, subtraction, multiplication, and division, respectively. On the other hand, the operations of addition and subtraction are more complicated and are calculated by the formulas (5) and (6):

$$\log_b(|X| + |Y|) = x + s_b(y - x) \quad (5)$$

$$\log_b||X| - |Y|| = x + d_b(y - x) \quad (6)$$

where the "sum" function is defined by $s_b = \log_b(1 + b^z)$ and the "difference" function by

$d_b = \log_b|1 - b^z|$. These functions $s_b(z)$ and $d_b(z)$ are also known as Gaussian logarithms.

Applications

A substantial effort to explore the applicability of LNSs as a viable alternative to floating point for general-purpose processing of single-precision real numbers is described in the context of the *European Logarithmic Microprocessor* (ELM) [11]. A fabricated prototype of the processor, which has a 32-bit cotransformation-based LNS arithmetic logic unit (ALU), demonstrated LNSs as a "more accurate alternative to floating-point", with improved speed. Further improvement of the LNS design based on the ELM architecture has shown its capability to offer significantly higher speed and accuracy than floating-point as well [12].

LNSs are sometimes used in FPGA-based applications where most arithmetic operations are multiplication or division [13].

Fixed-point representation of numbers

Fixed-point arithmetic provides a compelling alternative to IEEE standard floating-point representation, especially beneficial in embedded systems and low-power processors lacking dedicated floating-point hardware. Fixed-point numbers employ integer arithmetic by setting a fixed virtual decimal point between bit locations, thus clearly defining integer and fractional parts within a single binary word.

By leveraging integer hardware support available on most processors, fixed-point implementations significantly enhance computational speed and efficiency compared to floating-point arithmetic, which frequently relies on software emulation. However, this efficiency comes with inherent trade-offs in terms of numerical range and resolution [3].

A fixed-point number is represented in a Q format (Q[QI].[QF]), with QI indicating integer bits, QF fractional bits, and their sum equaling the total word length (WL). Selecting optimal QI and QF values is crucial, balancing the numeric range and the required precision. This section will examine these aspects, highlighting considerations necessary when converting floating-point numbers to fixed-point formats [3].

Building upon these concepts, recent research has explored practical applications of fixed-point arithmetic within cryptographic schemes, particularly ring-based Somewhat Homomorphic Encryption (SHE). Costache et al. [14] investigated fixed-point arithmetic within SHE schemes, analyzing polynomial-based representations and their computational efficiency, particularly relevant for complex homomorphic operations like encrypted image processing [14]. Their work demonstrates that fixed-point arithmetic, when appropriately parameterized, can substantially optimize homomorphic encryption operations, presenting meaningful implications for secure computational methods and encrypted data manipulation [14].

Further enhancing the practical cryptographic utility of fixed-point arithmetic, Teh et al. [15] introduced a chaos-based keyed hash function specifically designed using fixed-point representation. This approach addresses critical drawbacks of chaos-based cryptography, traditionally reliant on floating-point representations, such as computational inefficiency and difficulties in binary analysis [15]. By adopting fixed-point arithmetic, their hash function offers superior interoperability, easier cryptanalysis, and notably higher performance [15]. Empirical evaluations confirm that the proposed hash function demonstrates excellent diffusion, confusion, collision resistance, and near-ideal distribution properties, thereby establishing fixed-point arithmetic as an effective solution for high-performance cryptographic implementations [15].

Conclusions

This paper explored alternative numerical representations to the IEEE-754 floating-point standard, focusing on Posit arithmetic, the Logarithmic Number System (LNS), and Fixed-Point representation. Each system presents distinct advantages and trade-offs, making them suitable for various computing applications.

Posit arithmetic enhances precision and efficiency while reducing power and area consumption, making it a promising choice for scientific computing and deep learning. However,

it faces challenges such as multiplicative and additive cancellation. LNS simplifies multiplication and division, improving speed and accuracy in specialized applications like FPGA-based computing, but its complex addition and subtraction limit its widespread adoption. Fixed-Point arithmetic offers significant efficiency gains, particularly in embedded and low-power systems, yet sacrifices flexibility and range.

Through benchmarking on AxBench, OpenBLAS, and neural networks, our evaluation highlights the strengths and limitations of these alternatives. As computing continues to advance toward high-performance and energy-efficient architectures, further research and optimizations will be essential to integrating these number systems into mainstream applications.

Referințe

1. FORGET, L., UGUEN, Y., DE DINECHIN, F. Evaluating the hardware cost of posit arithmetic, 2021. Available: https://hal.science/hal03195756v1/file/2021_Evaluating_hardware_cost_posit.pdf
2. DE DINECHIN, F., FORGET, L., MULLER, J.-M., UGUEN, Y. Posits: the good, the bad and the ugly. In: Proceedings of the Conference for Next Generation Arithmetic (CoNGA'19), 2019, Article No. 6, pp. 1-10. Available: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3316279.3316285>
3. OBERSTAR, E.L. Fixed-Point Representation & Fractional Math Revision 1.2. August 2007. Available: https://www.researchgate.net/profile/Erick-Oberstar/publication/235791711_Fixed-Point_Representation_Fractional_Math_Revision_12/links/0912f5138a6546059b000000/Fixed-Point-Representation-Fractional-Math-Revision-12.pdf
4. GOHIL, V., WALIA, S., MEKIE, J., AWASTHI, M. Fixed-Posit: A Floating-Point Representation for Error-Resilient Applications. In: IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, 2021. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9399648>
5. GUSTAFSON, J.L., YONEMOTO, I. Beating Floating Point at its Own Game: Posit Arithmetic. In: Supercomputing Frontiers and Innovations, 2017. Available: <https://superfri.org/index.php/superfri/article/download/137/232>
6. POULOS, A., MCKEE, S.A., CALHOUN, J.C. Posits and the state of numerical representations in the age of exascale and edge computing. In: Software: Practice and Experience, 2021. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/spe.3022>
7. MURILLO MONTERO, R. Posit Arithmetic and its Applications: Ph.D. Thesis. Madrid: Universidad Complutense de Madrid, 2024. Available: <https://docta.ucm.es/rest/api/core/bitstreams/c13718ed-bb32-4cd9-89e6-23cebd120d4b/content>
8. HASELMAN, M., BEAUCHAMP, M., WOOD, A., HAUCK, S. A Comparison of Floating Point and Logarithmic Number Systems for FPGAs [online]. Dept. of Electrical Engineering, University of Washington, Seattle, WA. [Accessed 19.03.2025]. Available: <https://people.ece.uw.edu/hauck/publications/LogNumberSystem.pdf>
9. KOREN, I. Computer Arithmetic Algorithms. 2nd Edition. A.K. Peters, Ltd., Natick, MA, 2002.
10. DETREY, J., DINECHIN, F. A VHDL Library of LNS Operators [online]. Signals, Systems & Computers, 2003, 37, pp. 2227
11. COLEMAN, J. N., SOFTLEY, C. I., KADLEC, J., MATOUSEK, R., LICKO, M., POHL, Z., HERMANEK, A. The European Logarithmic Microprocessor – a QR RLS application [online]. Conference Record of Thirty-Fifth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, 2001-11-04.

12. ISMAIL, R. C., COLEMAN, J. N. ROM-less LNS [online]. 2011 IEEE 20th Symposium on Computer Arithmetic, 2011-07-25.
13. FU, H., MENCER, O., LUK, W. Comparing floating-point and logarithmic number representations for reconfigurable acceleration [online]. 2006 IEEE International Conference on Field Programmable Technology, 2006-12-13.
14. Costache, A., Smart, N.P., Vivek, S., Waller, A. (2017). Fixed-Point Arithmetic in SHE Schemes. In: Avanzi, R., Heys, H. (eds) Selected Areas in Cryptography – SAC 2016. SAC 2016. Lecture Notes in Computer Science(), vol 10532. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-69453-5_22
15. Teh, J.S., Tan, K. & Alawida, M. A chaos-based keyed hash function based on fixed point representation. Cluster Comput 22, 649–660 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10586-018-2870-z>

ANALIZA COMPARATIVĂ A IMPLEMENTĂRII ANTETURILOR HTTP DE SECURITATE ÎN REPUBLICA MOLDOVA ȘI ROMÂNIA ÎN CONTEXTUL SECURITĂȚII CIBERNETICE REGIONALE

Ana ȚURCAN

Facultatea Calculatoare, Informatică și Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei

*Autorul corespondent: Țurcan Ana, ana.turcan@fcim.utm.md

Coordonatorul științific: Dumitru CIORBĂ, conf.univ., dr., FCIM, UTM

Rezumat. Studiul prezintă o analiză comparativă a nivelului de implementare a anteturilor HTTP de securitate în Republica Moldova și România, având drept scop evidențierea gradului de maturitate al practicilor de securitate web în cele două țări și relevanța acestora în contextul mai larg al securității cibernetice în regiunea Mării Negre. Studiul se bazează pe o metodologie cantitativă care include evaluarea a 10K pagini web din fiecare țară, selectate pe baza datelor din Chrome User Experience Report (CrUX). Analiza s-a concentrat pe prezența și configurarea corectă a principalelor anteturi HTTP de securitate selectate conform metodologiei Web Security Index (WSI). Studiul evidențiază necesitatea consolidării politicilor de securitate web și armonizării acestora la nivel regional, precum și potențialul utilizării anteturilor HTTP ca indicatori concreți în evaluările de maturitate cibernetică.

Cuvinte cheie: Content-Security-Policy, HSTS, Referrer-Policy, Web Security Index, CrUX, reziliență cibernetică.

Introducere

În contextul creșterii exponențiale a atacurilor cibernetice la nivel global, securizarea comunicațiilor web este o prioritate strategică pentru statele din Europa de Est. Anteturile HTTP de securitate reprezintă primele linii de apărare împotriva injecțiilor de cod, atacurilor de tip clickjacking și a altor vulnerabilități de nivel aplicație. Implementarea coerentă și completă a acestora poate reduce semnificativ suprafața de atac a site-urilor guvernamentale, comerciale și educaționale, contribuind la creșterea rezilienței infrastructurilor critice din România și Republica Moldova. Organizații de renume precum OWASP [1], W3C [2] susțin utilizarea anteturilor HTTP și încurajează integrarea acestora în cadrul unei strategii de tip „defense-in-depth”, care presupune aplicarea simultană a unor mecanisme multiple și complementare de securitate, menite să ofere o protecție consolidată împotriva amenințărilor cibernetice.

Studiul propune să realizeze o analiză comparativă a implementării anteturilor HTTP de securitate în site-urile din România și Republica Moldova pentru top 10K pagini web din fiecare țară. Lucrarea urmărește să evidențieze diferențele de implementare și să identifice bunele practici pentru îmbunătățirea rezilienței infrastructurilor web naționale a principalelor anteturi HTTP de securitate selectate conform metodologiei Web Security Index (WSI). Întrebările centrale ale studiului vizează:

- Ce măsuri de securitate sunt implementate în site-urile analizate din Republica Moldova și România?
- Există corelare între indicii globali de securitate și indicele propus WSI?

Repere bibliografice

Pentru identificarea anteturilor de securitate HTTP fundamentale și a metodelor optime de implementare și testare în medii reale, au fost consultate recomandările OWASP, W3C, Mozilla [3] – alături de instrumentele de audit precum SecurityHeaders.io [4] și Mozilla

Observatory [3]. Aceste surse au furnizat un cadru aplicabil, oferind o înțelegere detaliată a configurațiilor de securitate necesare.

În cadrul studiului au fost consultate catalogul CVE (Common Vulnerabilities and Exposures) [5][6], National Vulnerability Database (NVD) [7], platforma CVE Details [6] care permit analiza tendințelor pe termen lung a măsurilor de securitate. Raportul OWASP Top10 [8] a furnizat un cadru analitic global de date, ordonând cele mai critice riscuri web. La nivel european, analiza „ENISA Threat Landscape 2024” [9] a oferit o perspectivă asupra evoluției amenințărilor, ce permite orientarea statelor membre în ajustarea politicilor de apărare.

Pentru evaluarea maturității cibernetice naționale, în diverse perspective, ale infrastructurii, cadrului instituțional și gradului de adoptare a tehnologiilor de securitate, studiul s-a raportat la Global Cybersecurity Index (GCI) [10], National Cyber Security Index (NCSI) [11] și Network Readiness Index (NRI) [12].

Din perspectivă științifică, literatura de specialitate - articolele indexate în Scopus, ResearchGate, IEEE Xplore, Google Scholar, oferă un fundament teoretic și bune practici privind adoptarea politicilor de securitate HTTP [13] [14] [16] [17].

Prin integrarea acestor repere, studiul conturează un profil actualizat al practicilor de securitate web.

Metodologia cercetării

Pentru a obține o selecție reprezentativă a site-urilor analizate, datele au fost extrase din Google Chrome User Experience Report (CrUX) Top 10K pentru fiecare țară separat, menționând că CrUX furnizează date agregate ale utilizatorilor Chrome.

În vederea extragerii efective a datelor privind implementarea anteturilor de securitate HTTP, a fost implementată o aplicație dedicată, capabilă să emuleze complet comportamentul unui browser. Aceasta transmite cereri specifice unui client HTTP, asigurând astfel coerența cu experiența utilizatorilor reali. În plus, pentru a garanta relevanța analizelor, aplicația normalizează URL-urile și filtrează în mod automat doar domeniile de nivel superior.

Din perspectiva evaluării obiective a gradului de implementare a măsurilor de securitate web, a fost propus și dezvoltat Web Security Index (WSI). Acesta este un indicator compus din trei dimensiuni principale, fiecare reflectând un set de anteturi HTTP esențiale, iar componentele sunt ponderate în mod egal (50 de puncte fiecare):

- Content Security (CS) evaluează măsurile care protejează conținutul site-urilor, incluzând: *Strict-Transport-Security* (HSTS) pentru impunerea comunicațiilor HTTPS; *Subresource Integrity*, care previne modificările neautorizate ale resurselor încărcate; *Referrer-Policy*, pentru controlul transparent al informațiilor de referință între site-uri; *X-Content-Type-Options*, care împiedică atacurile de tip MIME sniffing; *Cookie Security Settings* (Secure, HttpOnly, SameSite), care protejează informațiile stocate în cookies de acces neautorizat și atacuri cross-site.
- Cross-Location Security (CLS) se concentrează pe interacțiunile între diferite domenii și accesul la resurse externe, evaluând: *Content-Security-Policy*, care limitează sursele de conținut pentru prevenirea atacurilor; *Access-Control-Allow-Origin*, pentru specificarea site-urilor externe autorizate să acceseze resurse; *Access-Control-Allow-Methods*, care restricționează metodele HTTP permise pentru cererile de tip cross-origin; *Cross-Origin-Resource-Policy*, ce limitează accesul la resursele site-ului; *Cross-Origin-Embedder-Policy*, previne încărcarea de conținut malițios din surse externe; *Cross-Origin-Opener-Policy*, pentru izolarea contextelor browser și prevenirea atacurilor cross-window. *Referrer-Policy* reglează informațiile partajate între site-uri, iar *X-Frame-Options* protejează împotriva atacurilor de tip clickjacking.
- Network and Protocol Security (NPS) acoperă aspectele infrastructurii de comunicare securizate: *HTTP/2*, care promovează utilizarea unui protocol îmbunătățit pentru securitate și performanță; validitatea certificatelor *SSL/TLS*, asigurând conexiuni

securizate și prevenind atacurile de tip man-in-the-middle; extensia *DNSSEC*, garantând autenticitatea răspunsurilor primite de la sistemul de nume de domenii.

Acest cadru permite compararea multi-dimensională a nivelului de securitate între site-urile și țările monitorizate, oferind o bază pentru recomandări și politici viitoare. Esențial pentru metodologia WSI este de a defini o evaluare transparentă a securității web, fără a înlocui testările de securitate.

Pentru a contextualiza rezultatele WSI la nivel național și regional, au fost comparate scorurile obținute cu trei indici globali de securitate:

- *Global Cybersecurity Index* (GCI, ITU), ce evaluează implicarea statelor în implementarea politicilor și măsurilor de securitate cibernetică, inclusiv cadrul legislativ, cooperarea internațională și dezvoltarea tehnologică.
- *National Cyber Security Index* (NCSI, e-Government Academy - Estonia), ce măsoară pregătirea și reziliența infrastructurilor naționale prin indicatori precum guvernarea securității informatice, capacitatea de răspuns la incidente și educația publică.
- *Network Readiness Index* (NRI, Portulans Institute - SUA) reflectă gradul de pregătire al unei țări pentru a beneficia de oportunitățile oferite de transformarea digitală și tehnologiile informației și comunicațiilor.

Rezultatele obținute

În cadrul analizei WSI, au fost comparate valorile medii (Figura 1) ale celor trei componente pentru a scoate în evidență diferențele de implementare între România și Republica Moldova.

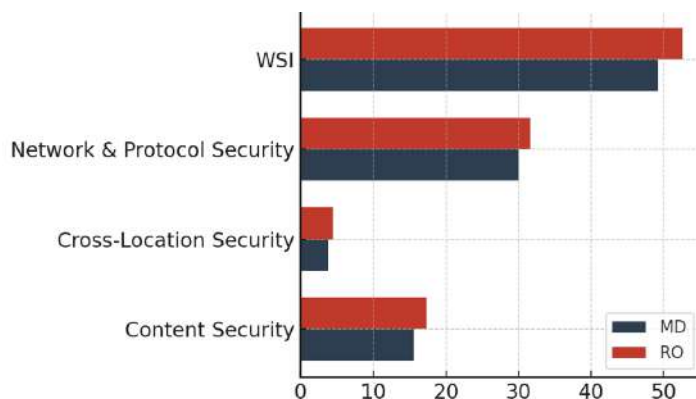


Figura 1. Distribuția scorurilor medii aferente anteturilor de securitate pentru fiecare țară

În ce privește Content Security România a obținut un scor mediu de aproximativ 17,3 puncte din 50, reflectând o acoperire relativ bună a anteturilor de tip HSTS, Subresource Integrity, Referrer-Policy, X-Content-Type-Options și setările de securitate pentru cookies. Republica Moldova a înregistrat un scor mediu de 15,5 puncte, indicând lacune în configurarea Subresource Integrity și a setărilor SameSite pentru cookie.

Pentru Cross-Location Security România a înregistrat un scor mediu de 4,5 puncte, datorită implementării moderate a politicilor Content-Security-Policy, Access-Control-Allow* și politicilor Cross-Origin. Republica Moldova a obținut doar 3,8 puncte, semnalând o adopție scăzută a Access-Control-Allow-Methods și Cross-Origin-Opener-Policy.

În cadrul componentei Network and Protocol Security România a obținut un scor de aproximativ 31,7 puncte. De cealaltă parte, Republica Moldova a atins un scor de 30,0 puncte, diferența rezultând în principal din valori mai scăzute pentru certificate SSL/TLS valide și dintr-o acoperire DNSSEC mai redusă.

Indicele WSI total indică un scor mediu de 52,7 puncte pentru site-urile accesate de utilizatorii din România, comparativ cu 49,2 puncte în cazul site-urilor accesate de utilizatorii din

Republica Moldova. Aceste valori sugerează că ambele state pot îmbunătăți nivelul de securitate web doar inducând politici de securitate site-urilor accesate de utilizatorii săi.

Rezultatele evidențiază diferențe semnificative între site-urile accesate din cele două state, în ceea ce privește gradul de conformitate cu bunele practici de securitate web. România prezintă o rată mai ridicată de implementare a anteturilor analizate, în special pentru X-Content-Type-Options și Strict-Transport-Security, în timp ce Republica Moldova înregistrează un decalaj vizibil, cu un număr considerabil de site-uri care nu implementează niciun antet de securitate. Totodată, în ambele țări se manifestă un nivel scăzut de adoptare a politicilor avansate, precum Permissions-Policy și Cross-Origin-Resource-Policy pentru paginile accesate de utilizatorii săi.

Detalierea acestor rezultate pe componente oferă o imagine clară a zonelor prioritare pentru intervenții. Pentru site-urile accesate din Moldova accentul este necesar de plasat pe consolidarea politicilor Cross-Location și adoptarea extensivă a HSTS și setărilor corecte pentru cookies. În timp ce pentru site-urile din România optimizarea Subresource Integrity și creșterea ratei de adoptare a DNSSEC ar fi obiectivele primare de optimizare.

Analiza separată a indicilor GCI, NCSI și NRI arată că România înregistrează scoruri superioare în pilonii Tehnologie (44,05), Resurse Umane (39,25), Guvernanță (66,19) și Impact (61,57), comparativ cu Moldova, care are scoruri de 37,31 în Tehnologie 37,53 în Resurse Umane 61,79 în Guvernanță și 55,83 în Impact. Totuși în pofida comparațiilor, WSI versus indicii globali menționați, se observă anumite relații dintre dezvoltarea infrastructurii și adoptarea bunelor practici de securitate web.

Concluzii

Analiza comparativă a implementării anteturilor de securitate HTTP pentru site-urile accesate de utilizatorii din Republica Moldova și România a relevat diferențe semnificative în conformarea cu bunele practici recomandate la nivel internațional. Site-urile din România s-au remarcat printr-o adopție mai bună a anteturilor esențiale, în timp ce acelea accesate din Republica Moldova au înregistrat decalaje relevante, cu un procent semnificativ de site-uri neutilizând anteturile de bază.

Corelarea scorurilor medii WSI cu indicii globali de maturitate cibernetică a evidențiat o asociere puternică între gradul de implementarea anteturilor de securitate HTTP și nivelul general de pregătire cibernetică națională, validând WSI ca un instrument auxiliar relevant de evaluare. Evaluarea separată a componentelor WSI a identificat priorități de intervenție concrete: extinderea politicilor Cross-Location și inducerea de adoptare pe scară largă a DNSSEC pe plan internațional, respectiv optimizarea directivei Subresource Integrity pentru paginile accesate în România.

Evaluarea WSI oferă un cadru pentru monitorizarea aplicării măsurilor de securitate la nivelul aplicațiilor, pe de o parte, și evidențiază importanța consolidării cooperării transfrontaliere și a alinierii la standardele internaționale de securitate cibernetică, pe de altă parte.

Deși recomandările pentru anteturile de securitate HTTP figurează în toate ghidurile de bune practici, adoptarea lor este încă sporadică. Astfel vulnerabilitățile generate de omisiuni sau configurații greșite rămân actuale, măbind potențialul de exploatare cibernetică.

Analiza WSI evidențiază că implementarea anteturilor HTTP și a măsurilor asociate contribuie la nivelul general de securitate web. Diferențele între România și Republica Moldova, deși moderate, reflectă variații în strategiile naționale, fondurile alocate și gradul de conștientizare a importanței securității web.

Mulțumiri. Rezultatele au fost obținute în cadrul Proiectului de Cercetare Instituțională 020404, susținut de Ministerul Educației și Cercetării al Republicii Moldova

Bibliografie:

1. „OWASP Secure Headers Project | OWASP Foundation”. Data accesării: 19 martie 2024. [Online]. Disponibil la: <https://owasp.org/www-project-secure-headers/>
2. WEICHSELBAUM, L.; SPAGNUOLO, M.; LEKIES, S.; JANC, A. „CSP Is Dead, Long Live CSP! On the Insecurity of Whitelists and the Future of Content Security Policy”, în Proceedings of the 2016 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security, Vienna Austria: ACM, oct. 2016, pp. 1376–1387. doi: 10.1145/2976749.2978363.
3. „HTTP Header Security Test - HTTP Observatory | MDN”. Data accesării: 12 februarie 2025. [Online]. Disponibil la: <https://developer.mozilla.org/en-US/observatory>
4. „Security Headers”, Security Headers. [Online]. Disponibil la: <https://securityheaders.com/>
5. „CVE Website”. Data accesării: 18 martie 2024. [Online]. Disponibil la: <https://www.cve.org/CVERecord?id=CVE-2023-44487>
6. Web, „CVE security vulnerability database. Security vulnerabilities, exploits, references and more”, oct. 2024. Data accesării: 5 octombrie 2024. [Online]. Disponibil la: <https://www.cvedetails.com/index.php>
7. „NVD - CVE-2023-44487”. Data accesării: 13 martie 2024. [Online]. Disponibil la: <https://nvd.nist.gov/vuln/detail/CVE-2023-44487>
8. „OWASP Top 10:2021”. Data accesării: 14 mai 2025. [Online]. Disponibil la: <https://owasp.org/Top10/>
9. „ENISA Threat Landscape 2024 | ENISA”. Data accesării: 28 mai 2025. [Online]. Disponibil la: <https://www.enisa.europa.eu/publications/enisa-threat-landscape-2024>
10. International Telecommunication Union (ITU), „Global Cybersecurity Index, 5th edition”, Geneva, 2024. Data accesării: 10 septembrie 2024. [Online]. Disponibil la: <https://www.itu.int/gci>
11. „National Cyber Security Index”, National Cyber Security Index. Data accesării: 15 septembrie 2024. [Online]. Disponibil la: <https://ncsi.ega.ee/ncsi-index/>
12. „Network Readiness Index – Benchmarking the Future of the Network Economy”. Data accesării: 12 februarie 2025. [Online]. Disponibil la: <https://networkreadinessindex.org/>
13. RUTH, K.; KUMAR, D.; WANG, B.; VALENTA, L.; DURUMERIC, Z. „Toppling top lists: evaluating the accuracy of popular website lists”, în Proceedings of the 22nd ACM Internet Measurement Conference, în IMC '22. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, oct. 2022, pp. 374–387. doi: 10.1145/3517745.3561444.
14. BARRETO, J.; ALMEIDA, H.; PINTO, P. „An Overview of HTTPS and DNSSEC Services Adoption in Higher Education Institutions in Brazil”, în 2023 25th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), Pyeongchang, Korea, Republic of: IEEE, feb. 2023, pp. 180–185. doi: 10.23919/ICACT56868.2023.10079449.
15. ȚURCAN, A.; CIORBĂ, D.; ȚURCANU, D.; RUGHINIȘ, R. „Assessing the adoption of HTTP security headers”, prezentat la The 13th International Conference on Electronics, Communications and Computing (IC ECCO-2024), Chisinau, 2024, pp. 117–118. Data accesării: 23 februarie 2025. [Online]. Disponibil la: <https://repository.utm.md/handle/5014/28773>
16. ALASHWALI, E. S.; SZALACHOWSKI, P.; MARTIN, A. „Exploring HTTPS Security Inconsistencies: A Cross-Regional Perspective”, 20 octombrie 2020, arXiv: arXiv:2010.10170. doi: 10.48550/arXiv.2010.10170.
17. LAVRENOVS, A.; MELON, F. J. R. „HTTP security headers analysis of top one million websites”, în 2018 10th International Conference on Cyber Conflict (CyCon), Tallinn: IEEE, mai 2018, pp. 345–370. doi: 10.23919/CYCON.2018.8405025.

TESTAREA AUTOMATĂ A APLICAȚIILOR ANDROID UTILIZÂND MODELE LINGVISTICE MARI

Tudor DEVIZA

Departamentul Informatică și Ingineria Sistemelor, grupa SD-231M, Facultatea Calculatoare, Informatică și
Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, Oraș Chișinău, Republica Moldova

Autorul corespondent: Tudor Deviza, tudor.deviza@iis.utm.md

Coordonatorul științific: Anatol POIATĂ, lector universitar, Universitatea Tehnică a Moldovei

Rezumat. *Lucrarea abordează provocarea testării automate eficiente în ecosistemul Android fragmentat, caracterizat de diversitatea dispozitivelor și versiunilor sistemului de operare. Metodele tradiționale, precum „monkey testing” sau scripturile predefinite, sunt limitate de necesitatea intervenției manuale extinse și de adaptabilitatea redusă la interfețele dinamice. Soluția propusă utilizează instrumentul Ape pentru explorarea sistematică a interfețelor utilizator prin „stateful fuzzing”, generând un graf detaliat de navigare care surprinde stările și tranzițiile aplicației. Pe baza acestui graf, modelele de limbaj de mari dimensiuni analizează contextul și generează scenarii de testare optimizate, eliminând pașii redundanți și prioritizând cazurile critice. Această abordare hibridă reduce efortul uman, sporește eficiența testării și îmbunătățește detectarea defectelor complexe, precum crash-urile sau comportamentele neașteptate. Contribuția majoră constă în integrarea inteligenței contextuale a LLM-urilor cu explorarea sistematică, oferind o metodă scalabilă și inovatoare pentru asigurarea calității software-ului mobil.*

Cuvinte cheie: *explorarea sistematică, optimizare testări, detectarea defectelor, generarea testelor*

Introducere

Aplicațiile Android, utilizate pe peste 3 miliarde de dispozitive active, sunt esențiale în diverse domenii, dar fragmentarea sistemului de operare și diversitatea interfețelor utilizator ridică provocări semnificative în testarea automată. Metodele tradiționale, precum explorarea aleatorie sau scripturile manuale, sunt ineficiente în detectarea defectelor complexe și necesită intervenție umană considerabilă. Progresele recente în inteligența artificială, în special modelele de limbaj de mari dimensiuni (LLM), permit generarea contextuală de scenarii de test, reducând dependența de configurarea manuală și îmbunătățind adaptabilitatea la interfețe variate.

Această lucrare propune o metodologie pentru testarea automată a aplicațiilor Android, bazată pe explorarea sistematică a interfețelor, generarea automată de scenarii și execuția optimizată, susținute de LLM-uri. Obiectivele includ: (1) dezvoltarea unei metodologii reproductibile, (2) evaluarea acesteia pe un set de aplicații din Google Play și (3) compararea performanței cu metodele tradiționale. Scopul principal este reducerea efortului manual și creșterea ratei de rulare a testelor automate, contribuind la îmbunătățirea calității aplicațiilor mobile.

Prezentarea metodologiei

Metodologia a fost concepută pentru a automatiza testarea aplicațiilor Android printr-un proces structurat în trei etape: explorarea interfețelor, generarea scenariilor de test și execuția optimizată. Procesul a implicat configurarea unui mediu de testare standardizat, implementarea fluxului de lucru și testarea pe un set divers de aplicații.

Configurarea mediului: Mediul de testare a fost inițializat cu Python 3.9 pentru gestionarea datelor și orchestrarea fluxului, utilizând Flask ca backend și SQLite pentru stocarea rezultatelor. O interfață utilizator, dezvoltată cu React (npm 18.3.0), a facilitat monitorizarea și configurarea testelor. Testele au fost efectuate pe un emulator Android 11 (4 GB RAM, procesor quad-core), conectat prin Android Debug Bridge (ADB). Configurațiile au inclus 25 de minute per test, 5 iterații per aplicație și o adâncime maximă de explorare de 8 stări, asigurând reproducerea consistentă a experimentelor.

Fluxul de lucru: Procesul a fost structurat astfel:

1. Explorarea interfețelor: Interfețele aplicațiilor au fost analizate sistematic pentru a genera reprezentări structurate, mapând stările (ex. „ecran principal”) și tranzițiile (ex. „apasă butonul Adaugă”). S-a utilizat o abordare de „stateful fuzzing” pentru a prioritiza funcționalitățile relevante, evitând explorarea aleatorie ineficientă.
2. Generarea scenariilor de test: Pe baza reprezentărilor interfețelor, modelele LLM au dedus scenarii de test relevante (ex. „Creează un element nou”). Aceste scenarii au fost generate contextual, luând în considerare stările și acțiunile disponibile, și optimizate pentru a elimina pașii redundanți.
3. Execuția și optimizarea testelor: Scenariile au fost executate automat pe dispozitiv, emulând acțiuni ale utilizatorului (ex. „Apasă butonul Adaugă, introdu ‘Element 1’”) cu suportul unui model LLM . gpt-3.5-turbo. Rezultatele, inclusiv defectele detectate, au fost stocate în SQLite și afișate în interfața utilizator. Optimizarea iterativă a pașilor a redus redundanțele, crescând eficiența.

Selecția aplicațiilor: Zece aplicații din Google Play au fost selectate pe baza simplității, diversității domeniilor (productivitate, educație, utilitare), accesului gratuit și absenței autentificării. Exemple includ aplicații de tip „to-do list” și calculatoare. Configurațiile au fost standardizate pentru a asigura comparabilitatea rezultatelor.

Rezultatele

Metodologia a fost evaluată pe 10 aplicații Android din Google Play, obținând o rată medie de rulare a testelor automate de 82% și detectând 10 defecte majore (crash-uri, blocaje, erori UI). Tabelul următor prezintă rezultatele:

Tabelul 1

Rezultatele testării a celor 10 aplicații

Nume Aplicație	Rata de rulare (%)	Defecte Detectate	Durata Execuție (minute)
Minimalist To-Do List	85	1 crash	45
Math Practice	78	2 blocaje	46
Simple QR Code Reader	90	1 crash	44
Calculator calorii slabit	82	0	45
Money Manager Expense & Budget	80	1 eroare UI	47
Podcast Guru - Podcast App	75	2 crash-uri	48
Unitto — calculator, converter	88	1 blocaj	45
Random Number Generator Plus	83	1 crash	46
Offline Maps by QuickMap	70	2 blocaje	49
Simple Weather Forecast	87	0	44

Rata de rulare de 82% reflectă capacitatea metodologiei de a testa majoritatea funcționalităților, datorită explorării sistematice și generării contextuale a scenariilor. Defectele detectate, precum crash-urile cauzate de inputuri neașteptate, evidențiază eficiența în identificarea problemelor critice. Durata medie de 45 de minute per aplicație indică o analiză detaliată, dar latența procesării LLM a fost o limitare. Comparativ cu metodele tradiționale (ex. explorare aleatorie, cu rată de rulare ~60%), metodologia propusă a redus redundanțele cu 15%.

Interfețele dinamice (ex. „Offline Maps”, 70%) au afectat rata de rulare, iar lipsa suportului pentru autentificare a limitat selecția aplicațiilor.

Concluzii

Metodologia propusă a demonstrat eficiența testării automate a aplicațiilor Android, obținând o rată medie de rulare a testelor automate de 82% și detectând 10 defecte în 10 aplicații testate. Explorarea sistematică, generarea contextuală și execuția optimizată, susținute de LLM-uri, reduc efortul manual comparativ cu metodele tradiționale. Limitările includ latența procesării și absența suportului pentru autentificare, sugerând direcții viitoare precum optimizarea performanței prin reducerea dependenței de API-uri externe și extinderea metodologiei la alte platforme. Cercetarea contribuie la avansarea testării automate, oferind o bază pentru integrarea AI avansate și colaborarea open-source.

Referințe

1. CHEN, J. et al. LLM for Test Script Generation. arXiv, 2023 [citât 13.04.2025]. Disponibil: <https://arxiv.org/pdf/2309.13574>
2. LI, Y.; YANG, Z.; LIU, Y. AutoDroid: A framework for automated testing of Android applications using large language models. arXiv, 2023 [citât 13.04.2025]. Disponibil: <https://arxiv.org/pdf/2308.15272>
3. WEN, H. et al. DroidBot-GPT: GPT-powered UI Automation. arXiv, 2023 [citât 13.04.2025]. Disponibil: <https://arxiv.org/abs/2304.07061>

ADOPTAREA TEHNOLOGIILOR MODERNE ÎN DEZVOLTAREA SISTEMELOR INFORMATICE BAZATE PE TEHNOLOGII WEB

Alexandru NEGARĂ

Departamentul Inginerie software și automatică, grupa TI-241M, Facultatea Calculatoarea, Informatică și Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

*Autorul corespondent: Alexandru Negară, alexandru.negara@isa.utm.md

Îndrumătorul/coordonatorul științific Alexei LEAHU, prof.univ., dr., UTM

Rezumat. *Lucrarea investighează tendințele recente în adoptarea tehnologiilor modern pentru dezvoltarea sistemelor informatice bazate pe tehnologii web, cu accent pe aspectele arhitecturale, scalabilitate și integrare în infrastructuri cloud. Studiul propune o analiză comparativă a framework-urilor moderne, a arhitecturilor distribuite, precum microservicii și serverless, precum și a instrumentelor DevOps utilizate în procesele de livrare continuă. Printr-o abordare practică, sunt discutate criteriile care influențează selecția tehnologiilor în funcție de contextul de dezvoltare, resursele disponibile și obiectivele aplicației. Originalitatea constă în formularea unui set de recomandări adaptabile, bazate pe experiențe reale de proiectare și implementare a aplicațiilor web moderne.*

Cuvinte cheie: *aplicații web, tehnologii moderne, microservicii, DevOps, framework-uri web, cloud computing.*

Introducere

În era transformării digitale accelerate, dezvoltarea sistemelor informatice bazate pe tehnologii web a devenit un pilon central în arhitectura IT a organizațiilor moderne. Creșterea cererii pentru aplicații scalabile, ușor de întreținut și rapid de implementat a determinat trecerea de la paradigmele tradiționale de dezvoltare — precum aplicațiile monolitice — către soluții distribuite, modulare și bazate pe servicii. Această evoluție tehnologică a fost însoțită de apariția și maturizarea unor instrumente și framework-uri moderne, care permit dezvoltatorilor să creeze aplicații web robuste, flexibile și adaptate cerințelor actuale de performanță și disponibilitate.

Importanța tehnologiilor web este dublată de necesitatea integrării acestora cu infrastructuri cloud, automatizarea proceselor de livrare software (DevOps), precum și adoptarea unor arhitecturi capabile să răspundă dinamic la variații de trafic și la schimbările de cerințe funcționale. În acest context, selecția tehnologiilor potrivite nu mai este o decizie strict tehnică, ci o alegere strategică ce influențează direct costurile, calitatea produsului și viteza de livrare.

Lucrarea de față își propune să investigheze criteriile care ghidează alegerea și adoptarea tehnologiilor moderne în dezvoltarea aplicațiilor web, să analizeze avantajele și provocările asociate, precum și să evidențieze printr-un studiu de caz aplicabilitatea concretă a unui set de tehnologii actuale într-un proiect funcțional. Prin această abordare, se urmărește oferirea unui cadru clar și reproductibil pentru echipele de dezvoltare interesate să adopte soluții tehnologice moderne în proiectele lor informatice.

Fundament teoretic

Sistemele informatice bazate pe web sunt soluții software accesibile prin rețea (de regulă internet) care integrează componente de prezentare (frontend), logică de procesare (backend) și baze de date pentru stocarea persistentă a informației. Acestea oferă utilizatorilor acces în timp real la servicii, funcționalități și date, indiferent de locația fizică, prin intermediul unui browser sau al unei aplicații client.

Evoluția acestor sisteme a fost marcată de tranziția de la arhitecturi monolitice — în care toate componentele aplicației sunt integrate într-un singur bloc — către arhitecturi distribuite, în care funcționalitățile sunt împărțite în module independente (microservicii), interconectate prin API-uri standardizate, de tip REST sau GraphQL. Această trecere a fost accelerată de nevoia de scalare pe orizontală, de separare a responsabilităților în echipele de dezvoltare și de menținere a unei viteze ridicate de livrare a noilor versiuni.

Totodată, componenta infrastructurală a sistemelor web a evoluat, de la servere fizice gestionate manual, către platforme cloud și arhitecturi serverless, unde resursele sunt gestionate dinamic în funcție de cerere. Această abordare elimină necesitatea administrării directe a serverelor și optimizează costurile de rulare.

În paralel, în zona de frontend s-a trecut de la HTML static și scripturi jQuery, la framework-uri reactive precum React, Angular sau Vue.js, care permit construcția de interfețe dinamice, modulare și scalabile.

Un alt element esențial în contextul tehnologiilor moderne este cultura DevOps — un set de practici care combină dezvoltarea software cu operațiunile IT, automatizând procesele de integrare, testare și livrare. Astfel, se asigură un ciclu de viață continuu și predictibil al aplicației, cu timpi reduși între dezvoltare și punere în producție.

Prin urmare, fundamentul teoretic al acestui articol se bazează pe înțelegerea evoluției paradigmatelor tehnologice în dezvoltarea web și pe clasificarea tehnologiilor moderne în funcție de rolul lor: framework-uri backend, frontend, instrumente DevOps, baze de date moderne și arhitecturi de execuție distribuite.

Fundament teoretic

Sistemele informatice bazate pe web sunt soluții software accesibile prin rețea (de regulă internet) care integrează componente de prezentare (frontend), logică de procesare (backend) și baze de date pentru stocarea persistentă a informației. Acestea oferă utilizatorilor acces în timp real la servicii, funcționalități și date, indiferent de locația fizică, prin intermediul unui browser sau al unei aplicații client.

Evoluția acestor sisteme a fost marcată de tranziția de la arhitecturi monolitice — în care toate componentele aplicației sunt integrate într-un singur bloc — către arhitecturi distribuite, în care funcționalitățile sunt împărțite în module independente (microservicii), interconectate prin API-uri standardizate, de tip REST sau GraphQL. Această trecere a fost accelerată de nevoia de scalare pe orizontală, de separare a responsabilităților în echipele de dezvoltare și de menținere a unei viteze ridicate de livrare a noilor versiuni.

Totodată, componenta infrastructurală a sistemelor web a evoluat, de la servere fizice gestionate manual, către platforme cloud și arhitecturi serverless, unde resursele sunt gestionate dinamic în funcție de cerere. Această abordare elimină necesitatea administrării directe a serverelor și optimizează costurile de rulare.

În paralel, în zona de frontend s-a trecut de la HTML static și scripturi jQuery, la framework-uri reactive precum React, Angular sau Vue.js, care permit construcția de interfețe dinamice, modulare și scalabile.

Un alt element esențial în contextul tehnologiilor moderne este cultura DevOps — un set de practici care combină dezvoltarea software cu operațiunile IT, automatizând procesele de integrare, testare și livrare. Astfel, se asigură un ciclu de viață continuu și predictibil al aplicației, cu timpi reduși între dezvoltare și punere în producție.

Metodologie

Pentru analiza adoptării tehnologiilor moderne în dezvoltarea aplicațiilor web, a fost elaborată o abordare structurată în trei etape: selecția tehnologiilor, definirea criteriilor de evaluare și realizarea unui studiu de caz practic.

În prima etapă, au fost selectate tehnologii reprezentative pentru dezvoltarea web modernă, acoperind toate componentele esențiale ale unei aplicații:

- Backend: Flask (Python), Django (Python), Spring Boot (Java), Express.js (Node.js);
- Frontend: React, Vue.js, Angular;
- Baze de date: SQLite, PostgreSQL, MongoDB;
- DevOps: Docker, GitHub Actions, Jenkins;
- Arhitecturi: monolitică, microservicii, serverless.
- Criteriile de evaluare utilizate pentru analiză au inclus:
 - Scalabilitatea și modularitatea oferită;
 - Ușurința de învățare și curba de adoptare;
 - Costurile implicate în dezvoltare și întreținere;
 - Suportul comunității și disponibilitatea documentației;
 - Compatibilitatea cu infrastructura existentă și gradul de integrare.

A treia etapă a metodologiei constă în dezvoltarea unui studiu de caz practic – o aplicație web simplă, realizată cu ajutorul framework-ului Flask, care ilustrează aplicabilitatea reală a tehnologiilor moderne selectate. Aplicația a fost proiectată să respecte principiile modularității, utilizând interfețe REST, un sistem de autentificare, operații CRUD și o bază de date locală. Rezultatele observate în acest studiu de caz vor fi analizate în secțiunile următoare.

Studiu de caz

Pentru demonstrarea aplicabilității tehnologiilor moderne selectate, a fost dezvoltată o aplicație web de tip aplicație organizațională internă, destinată gestionării datelor operaționale într-un mediu restrâns. Aceasta a fost implementată utilizând framework-ul Flask, limbajul Python și o bază de date locală SQLite, cu interfață realizată în HTML/CSS și Bootstrap.

Aplicația permite autentificarea utilizatorilor, accesul securizat la funcționalități personalizate, gestionarea entităților prin operații CRUD și interacțiunea cu o bază de date relațională. Comunicarea între frontend și backend se realizează exclusiv prin API-uri REST, oferind astfel flexibilitate în integrarea ulterioară cu alte servicii sau aplicații.

- Structura logică a aplicației este organizată pe straturi;
- Frontend: UI construit cu Bootstrap, interactiv și responsiv.
- Controller (Flask): gestiunea rutelor, validarea cererilor, coordonarea logicii aplicației.
- Servicii (Python): procese de business, abstractizate din controller.
- Persistență (SQLite): gestionarea datelor prin SQLAlchemy.

În cadrul procesului de dezvoltare, au fost utilizate și bune practici DevOps la scară mică: versionarea codului cu Git, rularea aplicației în containere Docker pentru testare, și definirea unor pași de build și run automați prin scripturi Bash, simțind astfel beneficiile automatizării și izolării mediului.

Această implementare demonstrează aplicabilitatea imediată a tehnologiilor analizate în metodologia lucrării, susținând ideea că adoptarea tehnologiilor moderne poate fi realizată gradual, fără complexitate excesivă, și cu rezultate tangibile în dezvoltarea sistemelor web funcționale.

Rezultate și discuții

Analiza studiului de caz a evidențiat mai multe beneficii concrete rezultate din utilizarea tehnologiilor moderne:

- Eficiență în dezvoltare: Utilizarea Flask și a bibliotecilor asociate a permis construirea rapidă a aplicației, cu un volum redus de cod și o curba de învățare accesibilă.
- Modularitate și întreținere facilă: Separarea clară a logicii aplicației în straturi (controller, servicii, persistență) a contribuit la un cod mai clar, reutilizabil și ușor de testat.

- Integrare rapidă: Datorită utilizării API-urilor REST, aplicația poate fi ușor extinsă sau integrată cu alte sisteme existente.
- Costuri reduse: Folosirea SQLite și rularea locală a aplicației într-un container Docker au eliminat nevoia de infrastructură externă costisitoare.
- Automatizare și portabilitate: Containerele Docker au simplificat procesul de testare și livrare, permițând rularea consistentă a aplicației în diverse medii.

Totodată, au fost identificate și câteva provocări:

- Necesitatea unei organizări riguroase: În lipsa unei structuri standardizate, proiectele Flask pot deveni greu de întreținut pe termen lung dacă nu sunt bine organizate de la început.
- Limitări ale SQLite: Baza de date utilizată, deși eficientă pentru aplicații mici, nu este adecvată pentru aplicații cu trafic intens sau volume mari de date.

În ansamblu, rezultatele confirmă ipoteza conform căreia adoptarea tehnologiilor moderne poate aduce beneficii clare în ceea ce privește viteza de dezvoltare, flexibilitatea arhitecturală și eficiența operațională, cu condiția aplicării acestora într-un context bine definit și dimensionat corespunzător.

Concluzie

Lucrarea de față a demonstrat că adoptarea tehnologiilor moderne în dezvoltarea aplicațiilor web nu este doar o alegere oportună, ci și una strategică. Pe fondul nevoii tot mai mari de aplicații rapide, scalabile și întreținute eficient, framework-urile și arhitecturile moderne oferă răspunsuri concrete prin modularitate, automatizare și interoperabilitate.

Studiul de caz prezentat a evidențiat avantajele tangibile ale unei soluții bazate pe Flask și tehnologii complementare precum SQLite și Docker. Simplitatea de utilizare, timpul redus de dezvoltare, ușurința integrării și scalabilitatea arhitecturală se numără printre beneficiile remarcate. Totodată, aceste rezultate confirmă importanța alegerii conștiente a tehnologiilor, în funcție de context, specificații și obiective.

Adoptarea trebuie să se bazeze pe o analiză prealabilă a resurselor tehnice și umane disponibile, dar și pe capacitatea organizației de a susține mentenanța și evoluția proiectelor. O tehnologie modernă, dar inadecvat aplicată sau insuficient înțeleasă, poate conduce la blocaje și resurse irosite.

Bibliografie

1. FOWLER, M. *Patterns of Enterprise Application Architecture*, 1st ed.; Addison-Wesley Professional: Boston, USA, 2019; pp. 73–95.
2. RICHARDSON, C. *Microservices Patterns: With examples in Java*, 1st ed.; Manning Publications: Shelter Island, USA, 2018; pp. 21–42.
3. BURNS, B. *Designing Distributed Systems: Patterns and Paradigms for Scalable, Reliable Services*, 1st ed.; O'Reilly Media: Sebastopol, USA, 2018; pp. 33–49.
4. GRINBERG, M. *Flask Web Development: Developing Web Applications with Python*, 2nd ed.; O'Reilly Media: Sebastopol, USA, 2018; pp. 14–66.
5. TURNBULL, J. *The Docker Book: Containerization is the new virtualization*, 1st ed.; Turnbull Press: Melbourne, Australia, 2014; pp. 85–112.

COMPUTING THE VOLUME OF THREE INTERSECTING CYLINDERS WITH ROTATIONAL SYMMETRY

Nichita RUSNAC*

Department of Software Engineering and Automation, group FAF-242, Faculty of Computers, Informatics, and
Microelectronics, Technical University of Moldova, Chişinău, Republic of Moldova

*Corresponding author: Nichita Rusnac, nichita.rusnac@isa.utm.md

Coordinator: Elena COJUHARI, associate professor, doctor at TUM

Abstract. This paper addresses the geometric problem of finding the intersection volume of three cylinders of equal radius, two of which are perpendicular to one another and the third of which forms two arbitrary angles with the other two. The article generalizes the classical Steinmetz solid to rotated, non-orthogonal cylinders, a topic that has minimal treatment in existing literature. The computation is done in two steps. In the first section, we deal with the case of rotation about a single axis. We employ analytical geometry and coordinate transformations by means of rotation matrices to obtain an exact formula for the intersection volume by strict integration. In the second section, we generalize the problem to the case of rotation around two axes. Due to the complexity of the resulting integrals, we compute the volume by combining analytical methods with Taylor series expansions for the more troublesome terms. Comparisons are drawn with standard numerical methods, and it is shown that even the approximate solutions are more accurate and computationally effective. This paper gives a sound and efficient method for the calculation of intersection volumes of rotated cylinders, which can be used in CAD modeling, engineering design, and physical simulations.

Keywords: cylinders, integration, intersection, rotation, symmetry, volume

Introduction

The problem of finding the intersection volume of three rotationally symmetric cylinders, or the Steinmetz solid, has been a longstanding open problem in geometry and applied mathematics. While the orthogonal case has been given considerable attention, as pointed out by Hubbell [1] in his discussion of the common volume of three intersecting cylinders, the non-orthogonal case remains relatively understudied. This paper addresses this gap by generalizing the Steinmetz solid to cases where one or more cylinders are rotated by arbitrary angles, employing techniques from linear algebra and analytical geometry, including rotation matrices and coordinate transformations, as detailed in Cojuhari [2]. Building on the early work of Zhang et al. [3], who explored applications of the Steinmetz solid in physics and engineering, we derive closed-form solutions for single-axis rotations and analytical and Taylor series solutions for double-axis rotations. Our results give precise and computationally viable solutions, with applications ranging from CAD modeling to cross-beam physics experiments.

One angle rotation

Find the volume at the intersection of 3 cylinders, one of them is perpendicular to both, another only with the first one, but forms an angle α with the third. Say we have the first cylinder described by the equation $x^2 + y^2 = R^2$ which will be perpendicular to the others. And the second let be $x^2 + z^2 = R^2$.

Now we need to find the rotated one. Obviously we can use the following matrix:

$$\begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}$$

So we can take the cylinder $y^2 + z^2 = R^2$ and rotate it and get

$$z^2 + (y \cos \alpha - x \sin \alpha)^2 = R^2 \leftrightarrow z^2 + (x \sin \alpha - y \cos \alpha)^2 = R^2 \quad (1)$$

where α is the angle with the Ox axis.

So we end up with finding the intersection at the following cylinders:

$$\begin{cases} x^2 + y^2 = R^2 & (1) \\ x^2 + z^2 = R^2 & (2) \\ z^2 + (y \cos \alpha - x \sin \alpha)^2 = R^2 & (3) \end{cases} \quad (2)$$

We can see that before the rotation we had the symmetry along all the planes, in other words the intersection of 3 cylinders in the quadrant $x > 0, y > 0, z > 0$ multiplied by 8 gives the entire volume. After the rotation we still have the same rotation but different planes of symmetry, soon we will find them.

Nearer we can observe that the intersection at cylinders (2) and (3) in the plane $z = 0$ gives us a parallelogram described by the equations:

$$\frac{\pm x + x \sin \alpha}{\cos \alpha} \quad (3)$$

which are the diagonals at our parallelogram.

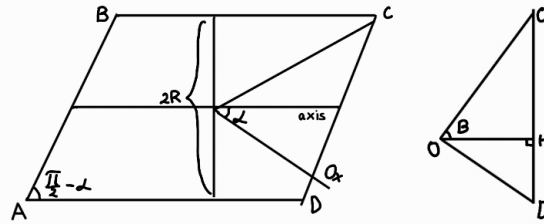


Figure 1 The intersection of two cylinders in the plane $z = 0$

We can see that two sides of this parallelogram are parallel with Oy axis, and the distance between them is exactly $2R$ (because these sides are given by the intersection at cylinder and plane $z=0$). Thus the height of the parallelogram is $2R$. If the angle between the axis at (3) cylinder and Ox is α , then with Oy axis we have $\frac{\pi}{2} - \alpha$, which is exactly the angle $\angle BAD$.

Thus we can see that $AB = \frac{2R}{\cos \alpha}$ and $OH = R$ then $AC = \sqrt{2 \left(\frac{2R}{\cos \alpha} \right)^2 (1 + \sin \alpha)}$ and also

$$OC = \sqrt{\frac{2R^2(1+\sin \alpha)}{\cos \alpha}} \rightarrow HC \cdot \frac{2R}{\cos \alpha} = OC^2 = \frac{2R^2(1+\sin \alpha)}{\cos^2 \alpha} \Leftrightarrow HC = \frac{R(1+\sin \alpha)}{\cos \alpha} \quad (4)$$

$$\beta = \arcsin \left(\frac{(1+\sin \alpha)R}{\sqrt{2R^2(1+\sin \alpha)}} \right) = \arcsin \sqrt{\frac{1+\sin \alpha}{2}} = \frac{\pi + 2\alpha}{4} \quad (5)$$

Then $m(\angle HOD) = \frac{2\alpha - \pi}{4}$, denote $\alpha = \frac{\pi}{2} - 2\varphi$ so we have

$$\int_{-\varphi}^{\frac{\pi}{2}-\varphi} d\theta \int_0^R r \sqrt{R^2 - r^2 \cos^2 \theta} dr \quad (6)$$

Divide the integral in two, where the trigonometric function have the same sign, so that areas will not cancel out. Because $0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2} \rightarrow 0 \leq \varphi \leq \frac{\pi}{4}$ and for sure $0 \leq \frac{\pi}{2} - \varphi \leq \frac{\pi}{2}$ and $-\frac{\pi}{2} \leq -\varphi \leq 0$. So we get :

$$\int_{-\varphi}^{\frac{\pi}{2}-\varphi} d\theta \int_0^R r \sqrt{R^2 - r^2 \cos^2 \theta} dr \quad (7)$$

with the substitution:

$$R^2 - r^2 \cos^2 \theta = u \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \int_0^{\frac{\pi}{2}-\varphi} \frac{1}{2 \cos^2 \theta} \int_{R \sin^2 \theta}^R \sqrt{u} du d\varphi &= \int_0^{\frac{\pi}{2}-\varphi} \frac{1}{3 \cos^2 \theta} (R^3 - R^3 \sin^3 \theta) d\theta = \frac{R^3}{3} \int_0^{\frac{\pi}{2}-\varphi} \frac{1 - \sin^3 \theta}{\cos^2 \theta} d\theta = \\ &= \frac{R^3}{3} \left(\frac{\cos \varphi - 1}{\sin \varphi} - \sin \varphi + 2 \right) \end{aligned} \quad (9)$$

In the same manner we get

$$\int_{-\varphi}^0 d\theta \int_0^R r \sqrt{R^2 - r^2 \cos^2 \theta} dr = \frac{R^3}{3} \left(2 - \frac{1 - \sin \varphi}{\cos \varphi} - \cos \varphi \right) \quad (10)$$

By adding this and previous example we get

$$V = 8 \frac{R^3}{3} (4 + \tan \varphi + \cot \varphi - (\sin \varphi + \cos \varphi + \sec \varphi + \csc \varphi)) \quad (11)$$

Where we have the known substitution:

$$\varphi = \frac{-2\alpha + \pi}{4} \quad (12)$$

Two angle rotation

Let the first and second cylinders be: $x^2 + y^2 = R^2$ and $x^2 + z^2 = R^2$. Now the axis of the third cylinder axis need to make an angle α with O_{xz} plane and β with O_z . Let $\vec{r} = \langle x, y, z \rangle$ using spherical coordinates we can get $\vec{d}$ the direction vector. Thus we get the equation of the third cylinder will be determined by:

$$\sqrt{x^2 + y^2 + z^2 - (\vec{d} * \vec{r})^2} = R \leftrightarrow x^2 + y^2 + z^2 - (\cos \alpha * \sin \beta * x - \sin \alpha * \sin \beta * y + \cos \beta * z)^2 = R^2 \quad (13)$$

Solving the system of equations between the last cylinder and the second one we get the next two equations:

$$y = \frac{\cos \alpha * \sin \beta * x + \cos \beta * z}{\pm 1 - \sin \alpha * \sin \beta} \quad (14)$$

By substituting $z = \sqrt{R^2 - x^2}$ we get the projection of the intersection line of the cylinders.

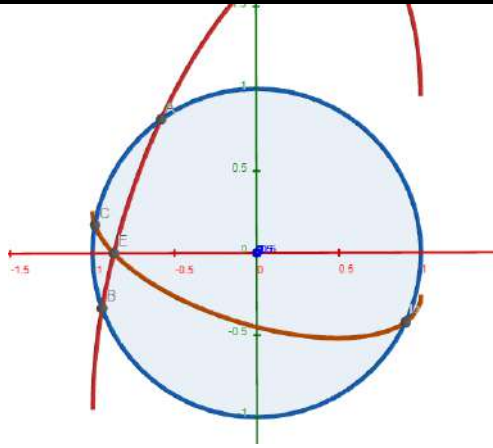


**Figure 2 Domain of the 2 angled intersection using second approach,
with $R = 1, \alpha = .96 \text{ rad}, \beta = .78 \text{ rad}$**

Now to find the points A,B,C,D,E we need to solve the equation between y equations and $x^2 + y^2 = R^2$. By simple computations and some analysis, we get the following points:

$$A \left(\frac{R\varphi_{-,-}}{\sqrt{\varphi_{-,-}^2 + \gamma^2}}, \frac{R\gamma}{\sqrt{\varphi_{-,-}^2 + \gamma^2}} \right); B \left(\frac{-R\varphi_{-,+}}{\sqrt{\varphi_{-,+}^2 + \gamma^2}}, \frac{-R\gamma}{\sqrt{\varphi_{-,+}^2 + \gamma^2}} \right); \quad (15)$$

$$C \left(\frac{-R\varphi_{+,+}}{\sqrt{\varphi_{+,+}^2 + \gamma^2}}, \frac{R\gamma}{\sqrt{\varphi_{+,+}^2 + \gamma^2}} \right); D \left(\frac{R\varphi_{+,-}}{\sqrt{\varphi_{+,-}^2 + \gamma^2}}, \frac{R\gamma}{\sqrt{\varphi_{+,-}^2 + \gamma^2}} \right); E \left(\frac{-R\cos\beta}{\sqrt{\cos^2\beta + \gamma^2}}, 0 \right) \quad (16)$$

Where $\varphi_{sng_1, sng_2} = sng_1 * \sin\alpha * \sin\beta + sng_2 * \cos\beta + 1$ and $\gamma = \cos\alpha * \sin\beta$.

Now we can integrate the piecewise smooth regions CEB and AED.

$$\begin{aligned} \frac{V}{2} = & \int_{-1}^{B_x} \int_{-\sqrt{R^2-x^2}}^{\sqrt{R^2-x^2}} f(x,y) dy dx + \int_{C_x}^{B_x} \int_{y_1}^{\sqrt{R^2-x^2}} f(x,y) dy dx + \int_{C_x}^{E_x} \int_{y_1}^{y_2} f(x,y) dy dx + \\ & + \int_{E_x}^{A_x} \int_{y_2}^{y_1} f(x,y) dy dx + \int_{A_x}^{D_x} \int_{y_2}^{\sqrt{R^2-x^2}} f(x,y) dy dx + \int_{D_x}^1 \int_{-\sqrt{R^2-x^2}}^{\sqrt{R^2-x^2}} f(x,y) dy dx \end{aligned} \quad (17)$$

By some tedious integration we can observe that if we take $R = 1$ and:

$$f(x,y) = \sqrt{1-x^2}, g(x) = 2 * \left(x - \frac{x^3}{3} + \frac{2}{3} \right), v(x,y) = \left(x - \frac{x^3}{3} - y + \frac{y^3}{3} \right) \quad (18)$$

And

$$h(x,y) = \frac{-1}{1+\sin\alpha*\sin\beta} \left(\frac{\cos\alpha*\sin\beta}{3} \left((1-y^2)^{\frac{3}{2}} - (1-x^2)^{\frac{3}{2}} \right) + \cos\beta * v(x,y) \right) + v(x,y) \quad (19)$$

$$k(x,y) = (h(x,y) - v(x,y)) \frac{-2}{1-\sin\alpha*\sin\beta} \quad (20)$$

Then $\frac{V}{2} = g(B_x) + h(C_x, B_x) + k(E_x, C_x) - k(A_x, E_x) - h(A_x, D_x) - g(D_x)$.

The left two piecewise smooth regions are too complex so we will use another approach to compute them.

Second approach on 2 angled rotation

Suppose we have a cylinder whose axis is Oz axis with equation $x^2 + y^2 = R^2$. Now using the rotation matrices, we get the equations

$$x^2 + y^2 + z^2 - (\cos(\alpha)x + \sin(\alpha)y)^2 = R^2 \leftrightarrow z^2 + (\sin(\alpha)x - \cos(\alpha)y)^2 = R^2 \quad (21)$$

which give us the equation of the cylinder perpendicular to Oz axis and forms an angle α with Ox axis. Similarly, we get the equation

$$y^2 + (\sin(\beta)x + \cos(\beta)z)^2 = R^2 \quad (22)$$

which is perpendicular to Oy and forms an angle β with Oz.

Now by solving the system of the equations (1) and (2) and expressing y throw x we get the equations of the intersection of the cylinders in the upper half projected upon the Oxy plane.

$$\begin{cases} z^2 + (\sin(\alpha)x - \cos(\alpha)y)^2 = R^2 \\ y^2 + (\sin(\beta)x + \cos(\beta)z)^2 = R^2 \end{cases} \quad (23)$$

From this system we get $z = \sqrt{R^2 + (\cos(\alpha)x + \sin(\alpha)y)^2 - x^2 - y^2}$ that is easily simplified to the form $z = \sqrt{R^2 - (\cos(\alpha)y - \sin(\alpha)x)^2}$. Now by substituting z to the second equation we get:

$$\begin{aligned} y_1 &= \frac{x(\sin(\beta) - \cos(\alpha)) + \cos(\beta)\sqrt{R^2 - (\cos(\alpha)y - \sin(\alpha)x)^2}}{\sin(\alpha)} \\ y_2 &= -\frac{x(\sin(\beta) + \cos(\alpha)) + \cos(\beta)\sqrt{R^2 - (\cos(\alpha)y - \sin(\alpha)x)^2}}{\sin(\alpha)} \end{aligned} \quad (24)$$

As for the points of intersection we will use the already known points (0) but change the coordinates using the rotation matrix for angle $\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right)$.

Now we have our new points of intersection A', B', C', D', E' . Having the intersection points we now need to find the from (3) the expression $y(x)$, after some tedious computations that the reader can check we get:

$$\begin{aligned} y_1 &= -\frac{1}{b_1}(\sqrt{b_2x^2 + b_3} + b_4x) \\ y_2 &= \frac{1}{b_1}(\sqrt{b_2x^2 + b_3} - b_4x) \end{aligned} \quad (25)$$

Where $a_1 = 2(\cot(\alpha)^2 \cos(\beta)^2 + 1)$.

$$\begin{aligned} a_2 &= (-2\cos(\alpha)\cos(\beta)^2 \pm 2\csc(\alpha)\sin(\beta) + 2\cos(\alpha))^2; a_3 = \\ &= -4((\cot(\alpha)\cos(\beta)r)^2 + 1); \end{aligned} \quad (26)$$

$$a_4 = (\csc(\alpha)\sin(\beta))^2 \pm 2\cot(\alpha)\csc(\alpha)\sin(\beta) + \cot(\alpha)^2 + \cos(\beta)^2; a_5 = -(\csc(\alpha)\cos(\beta))^2; \quad (27)$$

$$\begin{aligned} a_6 &= -2\cot(\alpha)\cos(\beta)^2 \pm 2\csc(\alpha)\sin(\beta) + 2\cot(\alpha); \\ b_1 &= a_1; b_2 = a_2 + a_3a_4; b_3 = a_3a_5; b_4 = a_6; \end{aligned} \quad (28)$$

Where for the y_1 we take a with plus and for the other one with minus. Thus we managed to describe the Domain in which we will do the partition and then the integration.

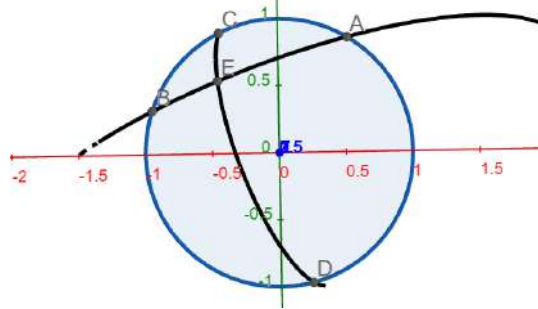


Figure 3 Domain of the 2 angled intersection using second approach,
with $R = 1, \alpha = .7 \text{ rad}, \beta = 1 \text{ rad}$

We can see that regions piecewise smooth regions CEA and BDE are limited from above by the third cylinder defined by the equation (2). Now, because all of our equations are symmetric by the Oxy plane, thus it is enough to integrate the upper half and then multiply by a factor of 2. Thus we can solve the equation (2) for z and get that $z = \frac{\cos(\beta)x - \sqrt{R^2 - y^2}}{\sin(\beta)}$. Now to find the volume of the above the piecewise smooth region BED, we need to integrate for $-1 \leq x \leq B_x, B_x \leq x \leq E_x$ and $E_x \leq x \leq D_x$, where index x indicates to take the x coordinate of our point. Thus we have:

$$V_{BED} = \int_{-1}^{B_x} \int_{-\sqrt{R^2-x^2}}^{\sqrt{R^2-x^2}} \frac{\cos(\beta)x - \sqrt{R^2-y^2}}{\sin(\beta)} dy dx + \int_{B_x}^{E_x} \int_{-\sqrt{R^2-x^2}}^{y_1} \frac{\cos(\beta)x - \sqrt{R^2-y^2}}{\sin(\beta)} dy dx + \int_{E_x}^{D_x} \int_{-\sqrt{R^2-x^2}}^{y_2} \frac{\cos(\beta)x - \sqrt{R^2-y^2}}{\sin(\beta)} dy dx \quad (29)$$

Let's do the computations in details for the second integral, and the rest will be done in the same manner. Analyze the integral about y :

$$\begin{aligned} \int_{-\sqrt{R^2-x^2}}^{y_1} \frac{\cos(\beta)x - \sqrt{R^2-y^2}}{\sin(\beta)} dy &= \operatorname{ctg}(\beta)x \int_{-\sqrt{R^2-x^2}}^{y_1} dy - \csc(\beta) \int_{-\sqrt{R^2-x^2}}^{y_1} \sqrt{R^2-y^2} dy = \\ &= \csc(\beta) \left(\cos(\beta)x \sqrt{R^2-x^2} - \frac{1}{2} |x| \sqrt{R^2-x^2} - \frac{\cos(\beta)}{b_1} x (\sqrt{b_2 x^2 + b_3} + b_4 x) \right) + \\ &\quad \frac{1}{2b_1^2} \left((\sqrt{b_2 x^2 + b_3} + b_4 x) \left(\sqrt{(b_1 * R)^2 - (\sqrt{b_2 x^2 + b_3} + b_4 x)^2} \right) \right) - \frac{R^2}{2} \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{R^2-x^2}}{|x|} \right) + \\ &\quad \frac{r^2}{2} \tan^{-1} \left(\frac{(\sqrt{b_2 x^2 + b_3} + b_4 x)}{\sqrt{(b_1 * r)^2 - (\sqrt{b_2 x^2 + b_3} + b_4 x)^2}} \right) \end{aligned} \quad (30)$$

Now let's do the second integral term by term:

$$\int_{B_x}^{E_x} x \sqrt{R^2 - x^2} dx = \frac{(R^2 - B_x^2)^{\frac{3}{2}} - (R^2 - E_x^2)^{\frac{3}{2}}}{3} \quad (31)$$

$$\int_{B_x}^{E_x} x (\sqrt{b_2 x^2 + b_3} + b_4 x) dx = \frac{(E_x^2 * b_2 + b_3)^{\frac{3}{2}} - (B_x^2 * b_2 + b_3)^{\frac{3}{2}}}{3b_2} + \frac{b_4}{3} (E_x^3 - B_x^3) \quad (32)$$

$$\begin{aligned} \int_{B_x}^{E_x} \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{R^2-x^2}}{x} \right) dx &= \sqrt{R^2 - B_x^2} - \sqrt{R^2 - E_x^2} + E_x \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{R^2-E_x^2}}{E_x} \right) - \\ &\quad B_x \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{R^2-B_x^2}}{B_x} \right) \end{aligned} \quad (33)$$

$$\begin{aligned} \int (\sqrt{b_2 x^2 + b_3} + b_4 x) \left(\sqrt{(b_2 R)^2 - (\sqrt{b_2 x^2 + b_3} + b_4 x)^2} \right) dx &= \sqrt{b_3} x \sqrt{b_2^2 R^2 - b_3} + \\ &\quad \frac{x^2 (b_4 b_2^2 R^2 - 2b_4 b_3)}{2\sqrt{b_2^2 R^2 - b_3}} + \frac{x^3 (b_2^5 R^4 - 3b_2^3 b_3 R^2 - 3b_4^2 b_2^2 b_3 R^2 + 2b_2 b_3^2 + 2b_4^2 b_3^2)}{6\sqrt{b_3} (b_2^2 R^2 - b_3)^{3/2}} + O(x^4) \end{aligned} \quad (34)$$

$$\int \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{b_2 x^2 + b_3 + b_4 x}}{\sqrt{(b_2 R)^2 - (\sqrt{b_2 x^2 + b_3 + b_4 x})^2}} \right) dx = x \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{b_3}}{\sqrt{b_2^2 R^2 - b_3}} \right) + \frac{b_4 x^2}{2 \sqrt{b_2^2 R^2 - b_3}} + \frac{x^3 (b_2^3 R^2 - b_2 b_3 + b_4^2 b_3)}{6 \sqrt{b_3} (b_2^2 R^2 - b_3)^{3/2}} + \frac{b_4 x^4 (3 b_2^3 R^2 + b_4^2 b_2^2 R^2 - 3 b_2 b_3 + 2 b_4^2 b_3)}{24 (b_2^2 R^2 - b_3)^{5/2}} + O(x^5) \quad (35)$$

For the remaining two integrals we will use Taylor expansion because they are too complex to be computed. Thus computing in such way the other remaining integrals we end up with a really complex expression but one that gives the most accurate answer in comparison to other numerical methods. For comparison take angles $\alpha = 30^\circ$, $\beta = 45^\circ$ and $R = 1$.

Using our formulas, we get the integrals equal to 2.44216, thus the Volume is equal to 4.88432 but using Monte-Carlo Method for 100 000 000 000 points it requires 236.698 seconds for the program in C to get the value 4.88404, which has only 4 significant digits. Thus we can say that even for simple angles and radius our complex formula got much faster and much better result than simple but inefficient numerical method.

Conclusion

In this work, we have abstracted away from the conventional Steinmetz solid to non-orthogonal cylinders with precise single-axis rotation solutions and valid double-axis approximations. Our method is more precise and cost-effective compared to numerical techniques like Monte-Carlo simulations, as demonstrated through our comparative analysis. Our findings introduce new potential for engineering design, physical simulations, and additive manufacturing applications. Future work shall be focused on achieving accurate solutions for multi-axis rotations and exploring extensions to unequal radii cylinders or other intersecting figures. By bridging theoretical and practical problems, the work is developing the area of geometric modeling and its applications.

References

1. HUBBELL, J. H. (1965). *Common Volume of Two Intersecting Cylinders*. Journal of Research of the National Bureau of Standards, Sect. C, 1965, pp. 139-143.
2. COJUHARI, E.; COSTAȘ, A.; LEAH, I.; RUSU, E. *Elemente de algebră liniară și geometrie analitică: Manual*. Editura Tehnică, UTM, 2023 259p.
3. ZHANG, L., et al. (2019). *Application and Implementation of Steinmetz Solid*. Journal of Physics: Conference Series, Volume 1345, Issue 4.

TRANSITIONING CORPORATE CYBERSECURITY: AN ANALYSIS OF DECENTRALIZED IDENTITY AND ACCESS MANAGEMENT (DIAM)

Ștefan BÎSTRÎȚCHI*, Adrian MANOLE,

*Software Engineering and Automation, SI-232, Faculty of Computing, Informatics and Microelectronic,
Technical University, Chișinău, Moldova*

*Corresponding author: Ștefan BÎSTRÎȚCHI, stefan.bistritchi@isa.utm.md

Tutor/coordinator: Arina ALEXEI, PhD Associate Professor, TUM

Abstract. *Classic Identity Access Management (IAM) schemes come along with a host of vulnerabilities, such as single points of vulnerability and susceptibility to credentials thefts. In this paper, we analyze Decentralized Identity and Access Management (DIAM) as a potential alternative to legacy IAM in business environments. DIAM utilizes Decentralized Identifiers (DIDs) and Verifiable Credentials (VCs), allowing workers to autonomously manage their digital identity credentials. A comparison was made between centralized IAM and DIAM based on underlying technologies, security implications, and real-world implementation issues in a business environment. Our analysis suggests that although DIAM might eliminate some risks present in centralized schemes, such as rampant credentials compromise, simultaneously, it poses unique security risks, specifically about compromising individual cryptographic keys, along with certificate issuers' reliability. The requirement of secure, user-friendly key management tools for workers turns into a significant challenge. The integration of DIAM into business schemes, affording optimal system operation, along with a strong establishment of governing structures, are prerequisites to its successful implementation. These are specifically identified in this work, along with practical solutions needed to overcome these, thus offering a realistic analysis of DIAM's potential to improve enterprise-level cybersecurity in terms of more than theoretical advantages.*

Keywords: *decentralized identity, verifiable credentials, identity management, decentralized access control, cybersecurity, key management, enterprise security*

Introduction

The contemporary corporate environment's digital footprint is undeniably expanding, a trend accelerated by pervasive cloud adoption, remote work, and the proliferation of Internet of Things (IoT) devices [1]. This digital transformation, while fostering innovation, concurrently broadens the attack surface. Consequently, the traditional concept of a defensible network perimeter is becoming increasingly nebulous, challenging long-held security assumptions. Understanding the fundamentals of cybersecurity, which encompass core principles of data protection and access control, is therefore essential in this evolving landscape [2]. In this dynamic environment, identity has emerged as the new critical boundary for security. This paradigm shift necessitates more robust verification methods and stringent access control mechanisms to adequately safeguard corporate assets [1]. Identity and Access Management (IAM) thus serves as a foundational capability, ensuring the right individuals access the right resources under the correct conditions, forming the bedrock of secure operations [1].

While traditional Centralized IAM (CIAM) has long been pivotal, its inherent architectural limits are now visibly strained. The model of centralized trust, where organizations act as custodians for vast amounts of identity data, unfortunately creates a significant and often exploited vulnerability, as evidenced by relentless data breaches [1]. These incidents highlight the pressing need for alternatives. Recognizing these shortcomings, this paper posits that a paradigm shift towards Decentralized IAM (DIAM) is increasingly necessary. DIAM leverages

technologies like Decentralized Identifiers (DIDs) and Verifiable Credentials (VCs), core components detailed in systematic studies of this emerging field [3]. Although DIAM promises enhanced security and user autonomy, its transition is complex. This research will analyze DIAM's primary drivers, its core mechanisms, purported benefits, and the challenges of implementation. Such a transition represents more than a mere technological upgrade; it signifies a fundamental re-evaluation of how trust is established, moving from institutional reliance towards models based on cryptographic proof and empowering users with greater data sovereignty [3]. Ultimately, this shift has the potential to reshape digital interactions towards greater transparency and verifiability.

Centralized Identity and Access Management (CIAM): The Incumbent Paradigm

CIAM architecture is fundamentally characterized by its reliance on central control points for data storage and management functions [1]. Common implementations utilize identity directories, authentication methods like MFA, and authorization controls such as RBAC, alongside key technologies like Single Sign-On (SSO) and Privileged Access Management (PAM) [1]. While this centralization simplifies administration and has historically aided compliance, it also introduces inherent and significant vulnerabilities.

A primary concern is the creation of Single Points of Failure (SPOF); a successful attack on a central repository can compromise an entire identity system, a critical risk for any enterprise [1]. The 2023 Okta breach starkly illustrated this systemic weakness. Furthermore, stolen credentials remain a primary and highly effective attack vector. Cyber-attacks such as phishing, which continue to be a notable threat even to well-protected organizations like higher education institutions [4], are frequently employed to acquire these credentials, often leading to severe financial and reputational damage. Beyond these direct security flaws, CIAM systems typically offer users limited direct control over their personal and identity data, a model increasingly misaligned with modern privacy expectations [1, 3]. This lack of user agency, coupled with issues like "privilege creep," where users accumulate excessive access rights, creates substantial security risks. The deep entrenchment of these mature CIAM systems, therefore, makes rapid adaptation to the evolving threat landscape both difficult and costly [1], pushing organizations to consider alternatives.

Decentralized Identity and Access Management (DIAM): The Emerging Frontier

In contrast to CIAM, DIAM seeks to embody the principles of Self-Sovereign Identity (SSI), a paradigm focused on granting individuals ultimate control over their digital identities [3]. Core SSI principles—such as user control, explicit consent, and data minimization—are central to this approach, as mapped out in systematic studies of the field [3]. This represents a fundamental move towards user empowerment. DIAM's architecture relies on three technological pillars, the practical application of which involves specific security technologies [5]:

Decentralized Identifiers (DIDs): These are user-controlled, globally unique identifiers that resolve to a DID Document containing metadata like public keys, often anchored to DLTs for resilience and to address CIAM's SPOF issues [1, 3].

Verifiable Credentials (VCs): These are cryptographically secure, privacy-respecting digital attestations of claims. The ecosystem involves Issuers, Holders, and Verifiers, with VCs supporting selective disclosure for enhanced privacy [1, 3].

Distributed Ledger Technologies (DLTs)/Blockchain: DLTs frequently serve as a trust anchor, providing an immutable infrastructure, though various DID methods exist, offering flexibility but also contributing to ecosystem complexity [1, 3]. DIAM enables users to present VCs for verification, with advanced techniques like Zero-Knowledge Proofs (ZKPs) further maximizing privacy during attestations [1]. This overall approach promises to eliminate central data honeypots and enhance user privacy [1, 3], directly tackling risks inherent in CIAM. However, the success of DIAM critically hinges on user-friendly and secure key management, a

significant challenge identified in reviews of the field [3]. Overcoming this usability hurdle is paramount for widespread adoption.

Comparative Analysis: CIAM vs. DIAM for the Modern Enterprise

DIAM offers a theoretically stronger posture for enhancing resilience against data breaches by distributing identity data, unlike CIAM's vulnerable central stores [1]. It aims to mitigate credential theft through user-controlled private keys, which are harder to compromise in bulk than traditional passwords [1, 3]. Furthermore, DIAM champions user control and privacy via VCs and selective disclosure [3], presenting a stark contrast to CIAM's data handling. To further elucidate these differences, Table 1 highlights how each paradigm addresses specific security vulnerabilities.

Table 1

Condensed Comparative Analysis of Security Vulnerabilities (CIAM vs. DIAM)

Vulnerability/Threat Vector	CIAM Approach & Effectiveness	DIAM Approach & Potential Effectiveness	Key Supporting Technologies/Principles
Mass Credential Theft	Relies on MFA/passwords. Effectiveness limited by user practices. Central storage high-value target.	User holds private keys; no central password store. Cryptographic proof. High potential, depends on key security [3].	DIDs, Public Key Cryptography, Wallets
Single Point of Failure	Central directory/IdP is SPOF. Outage cripples access.	VCs user-held. DLTs as trust anchor. Reduces data SPOF [3].	DLTs, User Wallets, Decentralized Storage
Phishing Susceptibility	Users tricked into giving credentials. MFA helps but isn't foolproof.	Cryptographic challenges harder to phish. Focus on wallet/device security.	Cryptographic Authentication, Secure Enclaves

This comparison reveals fundamental architectural differences with profound security implications. While CIAM benefits from mature, scalable systems, DLT-based DIAM can face throughput concerns [1]. The user experience with DIAM may initially be more complex due to key management [3], and it necessitates new governance models distinct from centralized policy enforcement [1]. Although DIAM aims for high interoperability through open standards [1, 3], integrating with legacy systems remains a significant hurdle. A simplistic financial comparison is therefore insufficient; a risk-adjusted ROI analysis is essential to capture DIAM's potential for reducing long-term breach costs [1].

Evidence and Use Cases: The Transition in Practice

The significant costs associated with CIAM breaches provide a strong impetus for exploring alternatives [1]. Emerging DIAM pilots and systematic mapping studies of the field highlight both potential benefits and persistent implementation challenges [3], offering valuable early lessons. Initiatives by major technology providers demonstrate DIAM concepts, showing feasibility. Benefits like enhanced security and potential fraud reduction are frequently cited outcomes [1]. However, key challenges consistently reported include key management usability [3], establishing trust for issuers, DLT scalability [1], and achieving seamless interoperability. These are not trivial issues and require concerted effort.

Navigating the Transition: Strategic Implementation of DIAM in Corporations

A successful transition to DIAM demands a multi-faceted strategy that extends beyond mere technology deployment, embracing a holistic approach to cybersecurity that integrates people, processes, and technology [6]. This acknowledges that DIAM implementation is a significant organizational evolution. Technical Solutions: Implementing secure, user-friendly key management (e.g., social recovery methods explored in DIAM literature [3]), establishing

trust registries, addressing DLT scalability [1] (e.g., via Layer 2 solutions or varied DID methods [3]), and bridging legacy gaps with middleware are all critical technical steps. Organizational Imperatives: Developing robust governance frameworks tailored for decentralized models is essential [1]. Equally important are comprehensive change management programs, securing stakeholder buy-in, and providing thorough user training [3], as user adoption is a key determinant of success. Phased Adoption: A pragmatic approach involves starting with focused pilot projects to gain experience, iterating on solutions, and then strategically expanding. It is increasingly clear that socio-technical aspects, such as the 'human element' and navigating regulatory ambiguity [3], often pose greater challenges than the core technological components.

The Future Trajectory of Corporate Identity: DIAM as a Foundational Shift

DIAM promises significant long-term advantages, including enhanced resilience [1], better privacy compliance, and the potential for new, user-centric business models. Its maturation depends on evolving open standards (foundational concepts reviewed in sources like [1, 3]) and clear, supportive regulatory landscapes, which are crucial for enterprise trust. The convergence with AI and IoT could unlock further transformative capabilities. For enterprises, this necessitates proactive investment in education, pilot programs, fostering expertise, and developing a strategic identity roadmap. Cultivating a robust and interoperable ecosystem will be vital for DIAM to realize its full potential.

Conclusion

The persistent vulnerabilities of CIAM architectures highlight that the status quo is becoming increasingly untenable, necessitating a shift. DIAM offers a compelling alternative [1], fundamentally re-architecting trust to enhance security and empower users with greater data control [3]. While the transition is complex [1] and adoption is still in nascent stages, real-world mapping studies and initial explorations show promising potential [3]. The journey towards DIAM should be viewed as a strategic imperative. Its success requires a co-evolution of technology, governance, user literacy, and regulation [3]—a collaborative effort to realize DIAM's transformative impact on corporate cybersecurity and digital trust, paving the way for a more secure and user-centric future.

Bibliography

1. RENZA, N. (2019). Comparative Study of Decentralized vs. Centralized Identity Access Management Systems in Multi-Cloud Environments.
2. ALEXEI, A. *Suport de curs "Fundamente ale securității cibernetice"*. Editura UTM: Chișinău, Moldova, 2024. ISBN 978-9975-64-464-8.
3. ŠPELA, Č.; & MUHAMED, T. (2021). Decentralized and Self-Sovereign Identity: Systematic Mapping Study. IEEE Access. PP. 1-1. 10.1109/ACCESS.2021.3117588.
4. ALEXEI, A. Network Security Threats to Higher Education Institutions. In *Central and Eastern European e|Dem and e|Gov Days 2021*, Proceedings of the Central and Eastern European e|Dem and e|Gov Days 2021, Budapest, Ungaria, 16-17 Septembrie 2021; National University of Public Service: Budapest, Ungaria, 2021; pp. 323–333. ISBN: 978-3-903035-30-0. ISSN: 2520-3401. DOI: <https://doi.org/10.24989/ocg.v341.24>.
5. ALEXEI, A. *Indicații metodice la lucrări de laborator "Tehnologii ale securității informaționale"*. Editura UTM: Chișinău, Moldova, 2024. ISBN 978-9975-64-448-8.
6. ALEXEI, A.; NISTIRIUC, P.; ALEXEI, An. THE HOLISTIC APPROACH TO CYBERSECURITY IN ACADEMIA. In *CEEeGov: Central and Eastern European eDem and eGov Days*, Proceedings of CEEeGov, Budapest, Ungaria, Septembrie 2022; ACM: New York, NY, USA, 2022; 6 Pages. DOI: <https://doi.org/10.1145/3551504.3551516>.

PROBLEMELE ACTUALE DIN SECURITATEA INFORMAȚIONALĂ

Evghenia OROȘAN*, Patricia REIȚMAN, Maria CUCTA,

Departamentul ISA, SI-241M, Facultatea CIM, Universitatea Tehnică, Chișinău, Moldova

*Autorul corespondent: Evghenia OROȘAN, evghenia.ivanova@isa.utm.md

Rezumat. *Securitatea informațională este o provocare continuă în fața amenințărilor cibernetice dintr-o lume digitalizată. În prezent, organizațiile și utilizatorii sunt expuși unor riscuri ridicate din cauza atacurilor cibernetice precum vulnerabilități tehnice și lipsa de educație în domeniul securității informaționale. Printre cele mai întâlnite amenințări se găsesc ransomware-ul, phishing-ul și malware-ul, aceste atacuri au un impact semnificativ asupra activității economice și asupra protecției datelor personale. În plus, lipsa educației în domeniul securității cibernetice rămâne o problemă, iar ingineria socială exploatează vulnerabilitățile umane prin manipularea utilizatorilor neinstruiți. În ceea ce privește vulnerabilitățile tehnice, software-urile nesecurizate și utilizarea de sisteme învechite continuă să fie o sursă de riscuri. Acest articol analizează amenințările, vulnerabilitățile și subliniază impactul acestora asupra securității informațiilor. Mai mult, sunt propuse soluții pentru combaterea acestor probleme, inclusiv implementarea tehnologiilor moderne, adoptarea unor bune practici de securitate și utilizarea unor instrumente de monitorizare a rețelelor în timp real. Pentru a asigura protecția datelor, organizațiile și utilizatorii trebuie să investească în educație continuă și să adopte măsuri proactive de securitate.*

Cuvinte cheie: *atacuri ransomware, vulnerabilități, educație cibernetică, protecția datelor, inginerie socială.*

Introducere

Pe măsură ce societatea contemporană devine tot mai dependentă de lumea digitală, se observă o dinamică complexă între beneficiile utilizării extinse a internetului și riscurile amenințărilor la adresa securității cibernetice. Datorită la milioane de utilizatori ce partajează zilnic informații și accesează serviciile online, volumul și complexitatea datelor măresc exponențial suprafața de atac. Precum și dependența tot mai mare de tehnologii, au amplificat riscurile și vulnerabilitățile asociate securității informaționale.

Securitatea datelor a devenit astfel o prioritate pentru organizații, autorități guvernamentale, dar și pentru utilizatori. Având în vedere impactul pe care breșele de securitate le pot avea asupra confidențialității, integrității și disponibilității datelor neglijarea acestor aspecte poate duce la consecințe devastatoare, la pierderi financiare masive și la compromiterea datelor sensibile și întreruperea serviciilor. În timp ce amenințările cibernetice devin tot mai sofisticate, abordările tradiționale de securitate sunt puse la încercare. Iar noile provocări, cum ar fi deepfakes și spionajul cibernetic, devin tot mai complexe.

Scopul acestui articol este de a analiza problemele actuale din securitatea informațională. Cu un accent pe protecția datelor, identificarea riscurilor și provocărilor cu care se confruntă organizațiile. Se va explora cele mai recente cercetări în domeniu, pentru a evidenția atât soluțiile inovative, cât și lacunele, vulnerabilitățile persistente în infrastructurile de securitate. Pe lângă acesta se va analiza tendințele globale și impactul asupra strategiilor de protecție a datelor.

Secțiunile următoare abordează contextul global al securității informaționale și al protecției datelor. Se identifică principalele probleme și amenințări în domeniu și se analizează strategiile și tehnologiile existente pentru combaterea acestora. În final, se va discuta direcțiile viitoare ale cercetării și al progreselor în domeniul securității informaționale.

Problemele actuale din securitatea informațională și impactul lor

În contextul digitalizării, securitatea informațională devine o prioritate pentru organizații și utilizatori. Amenințările cibernetice sunt într-o continuă expansiune și evoluție, având un impact asupra datelor, infrastructurii și reputației organizațiilor. Aproape 54 de persoane cad victimă unui atac cibernetic în fiecare secundă [1]. Printre cele mai frecvente atacuri cibernetice se găsesc ransomware, phishing, malware și altele.

Ransomware este un tip de atac în care atacatorii criptează fișierele victimei și cer o răscumpărare pentru decriptare. Începând cu 2023, peste 72% dintre companiile din întreaga lume au fost afectate de atacuri ransomware [2]. Aceste atacuri pot paraliza activitatea organizațiilor, ducând la pierderi financiare considerabile și la scăderea încrederii clienților. În 2024, atacurile ransomware au crescut cu 8% în America de Nord și cu 259% în America Latină [1].

Phishing-ul se bazează pe crearea de site-uri false sau trimiterea mesajelor care par legitime, dar au scopul de a fura datele personale. Anul trecut au existat peste 4.000 de incidente de atacuri de inginerie socială, dintre care 87% au fost phishing sau pretexting [1]. Phishing-ul poate afecta atât utilizatorii individuali, cât și organizațiile, punându-le în pericol infrastructura informatică.

Baiting presupune oferirea unui premiu sau acces la un produs gratuit, care, atunci când este descărcat sau accesat, instalează malware pe dispozitivul victimei. Hadnagy și Fincher [3] au demonstrat că peste 60% de indivizi ar ridica și conecta o unitate USB găsită în spațiile publice, arătând cum curiozitatea duce la breșe de securitate.

Atacurile de tip malware includ viruși, troieni și alte programe dăunătoare care pot infecta un sistem, provocând daune, furt de date sau interzicerea accesului la fișiere. Aceste atacuri pot afecta performanța unui sistem și pot lăsa organizațiile vulnerabile la breșe de securitate.

Pentru a asigura securitatea cibernetică, nu este vorba doar de tehnologie, ci și de utilizatori. Malware, phishing și atacurile web combinate reprezintă 80% din toate atacurile de-a lungul anului 2024. Dintre tipurile de atac cele mai frecvent utilizate vizează direct utilizatorii individuali, subliniind importanța conștientizării generale a securității [4]. Este necesar să se avertizeze utilizatorii cu privire la atacuri și alte amenințări cibernetice și să se instruiască pentru a lucra în siguranță.

Impactul acestor atacuri este vast și poate include pierderi financiare, daune reputaționale. Prevenirea și gestionarea acestor amenințări necesită investiții în tehnologie avansată, educație continuă și măsuri proactive de securitate.

Lipsa de educație în securitatea cibernetică

Una dintre cele mai mari provocări în domeniul securității cibernetice este lipsa educației în rândul utilizatorilor. Instruirea insuficientă sau chiar lipsa de cunoștințe poate face ca aceștia să devină victime ușoare ale atacurilor cibernetice. Pentru setul de date din 2024, elementul uman a fost o componentă a 68% din încălcări, aproximativ la fel ca în perioada anterioară descrisă în DBIR 2023 [5]. Deși există o gamă largă de măsuri de securitate, inclusiv 2FA și criptare, infractorii sunt încă capabili să depășească aceste bariere tehnice. Acest lucru este în concordanță cu constatările care afirmă că greșelile umane, cum ar fi clic pe o legătură suspectă sau partajarea datelor confidențiale cu o persoană necunoscută este una dintre cele mai mari amenințări în securitatea cibernetică [6].

Ingineria socială este o tehnică des folosită de atacatori pentru a manipula utilizatorii, în scopul obținerii unor informații sensibile sau acces neautorizat la sisteme. Aceste manipulări psihologice sunt eficiente pentru că utilizează tehnici de natură umană, cum ar fi dorința de a ajuta sau de a evita conflicte, și nu se bazează exclusiv pe vulnerabilitățile tehnice ale unui sistem.

În majoritatea cazurilor de atacuri cibernetice erorile umane sunt cauza principală a breșelor de securitate. În ciuda măsurilor tehnice implementate pentru a proteja rețelele și datele, comportamentele utilizatorilor care nu respectă protocoalele de securitate pot duce la exploatarea acestora. Mulți utilizatori aleg parole simple sau le reutilizează pe mai multe platforme. Atacatorii pot folosi tehnici de tip „brute force” sau „credential stuffing” pentru a accesa conturi, mai ales atunci când datele de autentificare din breșe anterioare sunt deja disponibile pe dark web. La fel utilizatorii care nu sunt instruiți să recunoască semnele unui e-mail de phishing pot deschide atașamente malițioase sau pot da clic pe linkuri care duc la site-uri false. Toate aceste acțiuni pot duce la instalarea de malware sau la dezvăluirea de informații personale.

91% dintre lideri preferă pentru a angaja candidați cu certificari. 89% dintre ei ar fi plătit pentru ca un angajat să obțină o certificare în securitate. Deși cererea este mare, 72% dintre respondenți spun că este dificil de găsit candidați cu certificări [4]. Deci, creșterea conștientizării și implementarea unor bune practici de securitate cibernetică pot reduce șansele ca utilizatorii să cadă victime ale atacurilor cibernetice.

Problema vulnerabilităților tehnice în securitatea informațională

Vulnerabilitățile tehnice reprezintă o altă problemă, iar atacatorii cibernetici exploatează aceste puncte slabe pentru a pătrunde în rețele, a fura date sau a instala software malițios. Printre principalele cauze ale vulnerabilităților tehnice se numără utilizarea de software-uri nesecurizate și menținerea sistemelor de operare și aplicațiilor învechite [7].

Software-urile nesecurizate reprezintă o categorie largă de aplicații care au fost dezvoltate fără a ține cont de cele mai bune practici în domeniul securității cibernetice. Cel mai critic mod de protecție împotriva atacurilor ar fi menținerea sistemelor și software-ului actualizate [6]. În caz contrar acestea pot conține vulnerabilități care pot fi exploatare de atacatori pentru a accesa sistemul.

Unele aplicații permit utilizatorilor să introducă date nesecurizate fără a le valida corespunzător. Aceste erori pot duce la atacuri de tip „SQL injection” sau „buffer overflow”, prin care atacatorii pot obține acces neautorizat sau pot modifica datele stocate. Aplicațiile care nu sunt actualizate periodic pot fi expuse vulnerabilităților deja cunoscute. Astfel, atacatorii pot utiliza exploit-uri publicate pentru a compromite sistemele ce rulează astfel de aplicații nesecurizate.

O altă breșă des întâlnită este folosirea sistemelor de operare și aplicațiilor mai vechi care nu beneficiază de suport tehnic din partea producătorilor, ce înseamnă că orice vulnerabilitate identificată ulterior nu va mai fi corectată. Aceste breșe sunt adesea bine documentate și pot fi exploatare cu ușurință de atacatori. Microsoft a întrerupt asistența pentru Windows 7, oficial din 2020, având în vedere această vulnerabilitate, atacatorii pot exploata vulnerabilitățile deja cunoscute [8].

Sistemele de operare și aplicațiile învechite nu sunt compatibile cu noile tehnologii de securitate, cum ar fi criptarea avansată sau soluțiile de protecție împotriva atacurilor de tip ransomware. Acest fapt face ca organizațiile care folosesc aceste tehnologii să fie mult mai expuse riscurilor. Vulnerabilitățile tehnice pot avea consecințe grave pentru organizații și utilizatori. Acestea pot duce la acces neautorizat la date sensibile, infecții cu malware, costuri financiare și perturbarea operațiunilor.

Potențiale soluții

Tehnologiile moderne joacă un rol important în protejarea datelor și a infrastructurii organizațiilor de atacuri cibernetice. Acestea nu doar că permit o protecție mai eficientă, dar oferă și o abordare mai rapidă și automatizată în fața amenințărilor emergente. De exemplu Microsoft Defender pentru Office 365 folosește o amenințare avansată protecție (ATP) pentru a scana e-mailuri și link-uri suspecte, reducerea semnificativă a expunerii la phishing [9].

Pe lângă implementarea tehnologiilor moderne, organizațiile trebuie să adopte metode specifice pentru a minimiza riscurile și a spori securitatea informațională. Soluțiile cheie sunt crearea unui ghid de bune practici pentru securitatea cibernetică și implementarea unui instrument de monitorizare a securității în timp real.

Un ghid cu practici în domeniul securității cibernetică pentru a ajuta organizațiile să implementeze măsuri de protecție adecvate și pentru a educa angajații, trebuie să conțină tehnici de stabilirea unor politici stricte pentru crearea și gestionarea parolelor, precum și utilizarea de soluții de gestionare a parolelor. Definirea unor reguli clare pentru utilizarea dispozitivelor mobile personale și corporative, inclusiv protecția lor cu parole și criptare.

Organizarea unor sesiuni de formare periodice pentru angajați cu scopul de a le crește conștientizarea despre riscurile cibernetică și bunele practici de securitate, sunt o soluție eficientă în combaterea criminalității cibernetică. Un ghid de bune practici nu doar că îmbunătățește securitatea, dar contribuie și la crearea unei culturi organizaționale responsabile în ceea ce privește securitatea informațională.

O altă soluție este un instrument de monitorizare a securității în timp real pentru detectarea și gestionarea rapidă a amenințărilor cibernetică. Acest tip de soluție permite monitorizarea constantă a traficului de rețea și a comportamentului utilizatorilor, identificând semnele unui atac în fazele incipiente. Un studiu de Kirda & Kruegel [10] a arătat că comportamentale instrumentelor de analiză au redus amenințările interne cu 60% atunci când au fost combinate cu audituri regulate.

Trebuie să fie integrate instrumente de monitorizare într-un sistem global de securitate și să colaboreze cu alte soluții, precum firewall-urile și soluțiile antivirus, pentru a asigura o protecție completă și eficientă. Monitorizarea continuă implică implementarea instrumentelor automate de securitate, cum ar fi Security Information and Event Management (SIEM), care poate detecta și alerta potențiale incidente de securitate în timp real.

Contribuția proprie

Fiecare dintre autori a avut un rol în realizarea acestei lucrări, contribuind în mod distinct la diferitele etape ale cercetării. Evghenia Oroșan, în calitate de autor principal, a coordonat cercetarea generală, a realizat analiza problemelor actuale din securitatea informațională și a formulat secțiunile referitoare la atacurile cibernetică (ransomware, phishing, malware) și impactul acestora. Totodată a condus redactarea secțiunii despre educația cibernetică și a propus soluții pentru îmbunătățirea securității organizaționale prin ghiduri de bune practici și instrumente de monitorizare a securității.

Patricia Reișman a fost responsabilă de revizuirea literaturii de specialitate, aducând contribuții notabile în analiza vulnerabilităților tehnice (software-uri nesecurizate și aplicații învechite). Ea a cercetat soluțiile tehnologice moderne și a propus exemple de bune practici și metode specifice pentru prevenirea riscurilor cibernetică, contribuind la identificarea metodologiilor inovative de protecție.

Maria Cucta a contribuit la partea de cercetare și redactare privind provocările legate de securitatea informațională, concentrându-se pe riscurile și impactul atacurilor cibernetică asupra organizațiilor. În continuare a elaborat secțiunea despre impactul breșelor cauzate de erori umane și a participat activ la dezvoltarea soluțiilor de monitorizare în timp real a securității rețelelor.

Împreună, autorii au colaborat în toate etapele lucrării, de la cercetare la redactare, asigurându-se că analiza este cuprinzătoare și relevantă pentru domeniul securității informaționale.

Concluzii

Securitatea informațională continuă să fie o provocare în fața unei lumi interconectate și a unor atacuri cibernetică tot mai sofisticate. Pentru a proteja organizațiile și utilizatorii de riscurile

actuale, trebuie să se investească în educația cibernetică, în actualizarea constantă a software-urilor și în utilizarea tehnologiilor avansate de securitate.

Vulnerabilitățile tehnice cauzate de software-uri nesecurizate și sisteme de operare învechite reprezintă o amenințare semnificativă pentru securitatea informațională. Abordarea acestei probleme necesită actualizarea continuă a tehnologiilor și adoptarea unor politici riguroase de securitate pentru a proteja datele și infrastructura digitală de atacuri.

Pentru a răspunde provocărilor din domeniul securității informaționale, este necesar ca organizațiile să adopte soluții tehnologice avansate și să implementeze metode specifice care să le permită să protejeze informațiile critice. Implementarea de tehnologii moderne trebuie să fie completată de educația continuă a angajaților și de utilizarea unor instrumente de monitorizare a securității. Iar crearea unui ghid cu practici și un sistem de monitorizare în timp real pot ajuta organizațiile să prevină și să răspundă rapid la amenințările ciberetice.

Cu toate acestea, progresul continuu în domeniul securității ciberetice oferă perspective optimiste. Adoptarea unor paradigme noi, cum ar fi arhitectura „zero trust”, care fundamentează securitatea pe principiul „niciodată încredere, întotdeauna verificare”, alături de integrarea avansată a tehnologiilor de inteligență artificială, devine critică. Aceste abordări reprezintă pilonii fundamentali în consolidarea rezilienței sistemelor, având un rol determinant în securizarea atât a infrastructurilor emergente, cât și a întregii infrastructuri digitale globale. Prin urmare, o înțelegere aprofundată a acestor soluții și o implementare strategică a lor sunt imperative pentru a asigura un viitor digital sigur și sustenabil.

Mulțumiri. Se exprimă recunoștința față de toți cei care au contribuit la realizarea acestei lucrări. Se mulțumește coordonatorilor și mentorilor care au oferit sprijinul necesar și îndrumare pe parcursul cercetării.

Referințe

1. How Many Cyber Attacks Occur Each Day? (2025). Disponibil online: <https://explodingtopics.com/blog/cybersecurity-stats> (accesat la data de Ziua Luna Anul).
2. Top Social Media Hacking Statistics & Trends for 2025. Disponibil online: <https://www.stationx.net/social-media-hacking-statistics/> (accesat la data de Ziua Luna Anul).
3. Hadnagy Christopher, Social engineering: The science of human hacking, 2nd ed., John Wiley, 2018.
4. Fortinet 2024 Cybersecurity Skills Gap Global Research Report. Disponibil online: <https://www.fortinet.com/content/dam/fortinet/assets/reports/2024-cybersecurity-skills-gap-report.pdf> (accesat la data de Ziua Luna Anul).
5. 2024 Data Breach Investigations Report. Disponibil online: <https://www.verizon.com/business/resources/reports/2024-dbir-data-breach-investigations-report.pdf> (accesat la data de Ziua Luna Anul).
6. Muhamed Bilalli, Analysis of social engineering attacks and ways to increase user awareness and prevent them. South East European University, Tetovo, 2024.
7. Riscurile Utilizării unui Sistem de Operare Început. Disponibil online: <https://itc-tech.ro/riscurile-utilizarii-unui-sistem-de-operare-inceput/> (accesat la data de Ziua Luna Anul).
8. Kenneth AJ G. Quilantang, James Andrei C Rivera, Mark Vincent M Pinili, Alphonsus Joseph R Magpantay, Eric Busia Blancaflor, Joseph Rex M Pastrana. Exploiting Windows 7 Vulnerabilities using Penetration Testing Tools: A Case Study about Windows 7 Vulnerabilities. ICCCM '21: Proceedings of the 9th International Conference on Computer and Communications Management, Singapore July 16 - 18, 2021. pp 124-129.

9. Anti-phishing protection in Microsoft 365. Disponibil online: <https://learn.microsoft.com/en-us/defender-office-365/anti-phishing-protection-about> (accesat la data de Ziua Luna Anul).
10. Kirda E., Kruegel C, Behavioral profiling for insider threat detection. Journal of Computer Security, 24(6) 2016, pp 673–695.

THE DIGITAL REVOLUTION IN EDUCATION

Andrey UZUN, Kirill BOBOC, Alexander BIRIUCOV

ISA, FAF-242, FCIM, Technical University of Moldova, Chisinau, Moldova

Tutor/coordinator: Elena GOGOI, university lecturer, *Technical University of Moldova*

Abstract. *The internet and the digital technology have transformed learning, affecting study habits, information access, and collaborative learning. The digital media have made learning interactive, flexible, and personalized, enabling independent learning and facilitating research skills. Yet the new innovations also introduce the problems of digital divide, reliability, and distraction. Technology helps humans work together and promotes critical thinking by using digital tools and AI to filter content. Technology also, however, creates distractions that make it hard to think deeply and succeed in school. As educators are more and more becoming mentors than just handing out facts, it shows the importance of balancing traditional and digital learning methods. In order to reap the optimum benefits of technology in education, the students need to develop sound critical thinking skills and implement strategies to reduce distractions to facilitate efficient and equitable learning experiences.*

Keywords: *internet, education, habits, studying, learning, libraries*

Introduction

The fast evolution of computer and internet technology has revolutionized today's education significantly. It affects how students learn, access information, and interact. The conventional methods of learning, which were based on books and face-to-face teaching before, have been replaced by an active virtual process. Online content, multimedia, and interactive web pages offer new learning possibilities. This transformation has brought about ease of learning and accessibility. Students can learn at their own pace and engage in learning that best suits them.

Before the widespread use of the internet, learning habits were primarily library, text-based, and face-to-face with teachers.

Research took extensive periods, and students had to physically access books and academic journals. Learning relied heavily on memorization and classroom sessions that mimicked textbooks. The present era of digital revolution has, nonetheless, made instantaneous access to vast information possible, encouraging independent learning and multimedia learning. This change has made it more efficient, but it has also brought with it problems like shorter attention spans and the need for better digital skills to judge if sources are trustworthy.

This change is in line with the broader shifts in education and industry, specifically the notions of Education 4.0, Industry 4.0, and University 4.0. Education 4.0 focuses on the use of digital assets, personalized learning, and competence-based learning to equip students with the needs of Industry 4.0, such as automation, artificial intelligence, and smart technologies. University 4.0 takes this idea a step further with the use of different digital tools, the advancement of learning through cross-disciplinary curricula, and the facilitation of innovation-led education to fit the changing needs of industries today. As schools move towards these new structures, an equilibrium between new technology and traditional ways of teaching is necessary to create a fair and effective system of education.

Pros and Cons of Technology in Education

The internet has changed learning by switching the focus from memorization to achieving the information from different sources. Siemens (2005) introduced connectivism, claiming that

"learning is no longer an individual activity but a process of connecting information from different sources" [1]. This theory indicates how digital networks help students access knowledge through other resources apart from textbooks or lectures. Garrison and Vaughan (2008) further believe that connectivism approaches cultivate critical thinking and problem-solving skills, as students evaluate and navigate multifaceted digital content [2].

Online learning platforms have also improved accessibility and flexibility in education. Anderson (2008) notes that "online learning allows students to study at their own pace and from any location," dismantling the spatial and temporal barriers of conventional classrooms [3]. An analysis by Means et al. (2013) confirms this, demonstrating that students in online or blended environments are often better at studying than their peers in traditional settings, particularly when interactive tools such as multimedia lessons and adaptive quizzes are utilized [4].

Blended learning, being a combination of online and in-person instruction, offers additional benefits. Bonk and Graham (2012) believe that this model "offers the best of both worlds—face-to-face interaction with teachers and the flexibility of digital learning" [5]. Dziuban et al. (2018) found that blended learning increases student satisfaction by giving structured guidance with digital autonomy [6]. Moreover, self-paced learning facilitated by technology improves retention, as students can revisit material at their discretion, a benefit underscored by Clark and Mayer (2016) in their research on e-learning design [7].

The internet is a crucial element in learning, but it also has some problems. A major problem is the digital divide that increases inequality in access to digital learning content. Warschauer and Matuchniak (2010) observe that students from rural or poor neighborhoods lack stable internet or recent devices, which prevents them from accessing digital learning resources [8]. This is a limitation that creates education gaps, as those who have poor internet connection do not reap the benefits of online education.

A further drawback is how the internet has revolutionized the teaching profession, altering drastically what is done by teachers. Brynjolfsson and McAfee (2014) observe that "teachers are now more like mentors, helping students find and understand information rather than just giving it to them," which is a change wrought by an abundance of online information [9]. Ertmer et al. (2012) established that most teachers struggle to adjust to this internet-based model due to a lack of proper training. This results in inconsistent use of digital tools and can limit their effectiveness in instruction [10].

Although internet use has many benefits, there are some drawbacks to it as well. LearningBuddiesNetwork.com (2023) describes how the internet is beneficial in terms of personalization in learning but also mentions some problems like the digital divide and distraction [11]. Although it benefits some students because of the vast resources on the internet, it disadvantages others in the way that they are unable to use these resources, thus unequal opportunity to learn.

The internet also results in too much screen time and overloads our brains, ruining performance. Kirschner and De Bruyckere (2017) believe that spending too much time on the net reduces attention spans and affects deep learning. This is especially true since there exists much distracting content on the web that is non-educational [12]. Mayer (2014) warns that too much information on the internet may cause "cognitive overload." Therefore, it becomes hard for students to remember and understand things [13]. All these problems show that the internet can harm the quality of education if not properly controlled.

Changes in study habits and access to information

The internet has radically changed and revolutionized the manner in which we learn, greatly affecting different elements such as our studying, the availability of information, the amount of effort that students put into their academic activities, and the way research is carried out. This tremendous shift has transformed and reconfigured the educational field by providing

huge amounts of information easily accessible just with a press of a button, and it has also altered the way students use and interact with the plethora of sources available to them.

Before the days of widespread internet access, students had to rely on libraries and deal with real books. While these more traditional tools were helpful and added much to learning, they could quite frequently take a while and some effort to access and utilize properly. The Internet has changed the learning process so that not only is it quicker but it is also much more convenient and effective. According to a survey conducted by the Pew Research Center in 2014, a massive 87% of American adults who use the internet on a regular basis believe that it has assisted them in learning new skills. Furthermore, an overwhelming 53% of those surveyed report that their ability to learn has been greatly enhanced by using the internet. This particular statistic represents the manner in which online resources have become an essential means of self-education, as such resources enable one to learn a far greater number of subjects than were ever previously accessible while also allowing the learner to progress at his or her own pace and in accordance with his or her own interests [14].

The ease with which individuals are capable of accessing information in today's world has significantly altered the process of research across a wide range of various domains and fields. According to opinions expressed by the Pew Research Center back in 2012, it is believed that the advent of digital tools has caused the whole process of research a great deal more convenient than it ever was in the past, yet this convenience has also been accompanied by certain issues that the users have to endure. Despite the fact that students can now access tremendous volumes of information virtually instantly at their fingertips, they tend to be at sea when it comes to judging the credibility and reliability of the channels through which they receive this information. Educators have observed that, even though they have plenty of information readily available within their fingertips, students require more critical thinking abilities [15]. Consequently, these types of abilities are important in helping them be capable of separating sources which can be regarded as trustworthy and also those that cannot be trusted.

The significance of internet access in relation to achieving academic greatness is also touched upon in more detail in an extremely comprehensive study released by ERIC in 2022. It is explicitly suggested that students perceive online data as being much more efficient and practical than the data typically found in traditional school libraries. The research further verifies that internet access at home plays an essential and fundamental role toward enhancing academic achievement [16]. Nonetheless, in spite of the numerous advantages that are linked to it, the extensive availability of the internet inevitably has a series of issues that cannot be overlooked. As LearningBuddiesNetwork.com (2023) states it, although the internet is a primary element in the delivery of personalized learning experiences for numerous people, it also lists some matters that should be resolved, which include the digital divide and the probability of several types of distraction. While a noteworthy number of students are in a position to reap the full advantages of a host of online materials, there is another group of students who experience restrictions in their access [11].

Overall, it could be stated that the internet has profoundly altered study habits in numerous ways, primarily by making a tremendous amount of information far more accessible than ever before, providing personalized learning opportunities according to individual requirements, and greatly expanding research possibilities for all. However, with these advancements, it also comes with a set of new issues that must be addressed, such as the imperative task of checking the credibility of sources.

Focus on the impact on collaboration, critical thinking and distractions

Digital technology has contributed significantly to collaboration, critical thinking, and distractions in schools. While it enhances learning by providing new tools for communication and problem-solving, it also poses challenges by making it easier for students to lose focus on their studies.

On one hand, it can be seen that digital technologies play an imperative role in advancing collaborative learning experiences as they enable the development of interactive settings in which students are actively involved with each other, discussing different topics, and collaboratively developing their knowledge base. The European Proceedings of Educational Sciences, through its research in 2023, has validated the fact that the integration of digital content into collaborative learning settings results in noticeable differences in the overall performance of learners. In addition to this, the use of AI applications combined with content filtering, based on the individual demands of learners, supports them in filtering out huge amounts of information. This not only prevents the issues of digital overload but also supports effective collaboration among peers, improving the learning experience as a whole [17]. Furthermore, online systems that are enriched with advanced adaptive learning technologies are capable of tailoring learning materials to each individual learner. This allows students to have access to content that is particularly designed to address their personal needs and fit their own learning rate. This type of approach is the cornerstone of developing a more inclusive and stimulating learning process for all students.

Yet, it should be mentioned that digital technology also provides a set of distractions which can play a negative role in terms of critical thinking skills. It is quite explicitly stated through an in-depth study conducted by Perez-Juarez in 2023 that the use of social media websites, messaging applications, and even mere Internet browsing significantly decreases the attention span while simultaneously hindering the ability to conduct deep cognitive processing. There are, in fact, numerous students who are not even cognizant of the considerable extent to which these distractions negatively influence their overall productivity and effectiveness at studying [18]. Aside from this notable observation, Kuncoro et al. (2023) claim that a staggering 70.43 percent of students are way more interested in gaming activities than learning activities, an evident and alarming cause of digital distraction in contemporary education. This frequent and common usage of electronic devices for non-learning activities has the direct consequence of a noticeable decline in critical thinking skills among students and therefore further worsens their overall academic performance. Furthermore, while being distracted by these various non-educational activities, students multitask; the practice of doing multiple things simultaneously does not give them the necessary time and focus needed to fully process information and effectively resolve complex problems they may have in their academic studies [19].

Digital distraction has a negative impact on the effectiveness of human collaboration. By the time students are grouped together, they will split their attention between the collaborative task at hand and the many digital distractions that may take place. This divided attention can make discussion less effective and result in an astounding reduction of substantive interaction among peers. To solve this issue, Cara Tuttle (2020) proposes the utilization of undistracted learning sessions in addition to creating distraction-free zones. In these zones, students are convinced and encouraged to leave their electronic devices behind and instead partake in reflective thinking that enhances deeper engagement with their work and their peers [20].

Therefore, whereas computer technology affords students plenty of helpful information and numerous opportunities for interactive and engaging learning processes, students must always ensure they utilize the technology appropriately. In doing so, they will not only enhance and develop their critical thinking but, simultaneously, be able to avert potential distractions.

Conclusions

The incorporation of the internet and digital technology in education has transformed learning with greater flexibility, accessibility, and collaboration for students. Digital technology facilitates personalized learning, makes research more efficient, and assists interactive learning experience. There are drawbacks to these advantages, such as digital distractions, disparity in

access to technology, and requirements for higher levels of critical thinking to determine credibility.

In order to reap the benefits of digital learning and reduce its disadvantages, the students need to know how to avoid distraction and critically assess online information. The teachers also play a significant role in guiding the students through this changing environment by achieving a balance between traditional and digital pedagogy. As technology is further incorporated into education, facilitating equal access and responsible digital practice will be key to developing an effective learning process.

References

1. SIEMENS, G. (2005). Connectivism: A learning theory for the digital age. *International Journal of Instructional Technology and Distance Learning*. Available at: http://www.itdl.org/Journal/Jan_05/article01.htm
2. GARRISON, D. R.; VAUGHAN, N. D. (2008). *Blended Learning in Higher Education: Framework, Principles, and Guidelines*. Jossey-Bass. Available at: <https://www.wiley.com/en-us/Blended+Learning+in+Higher+Education%3A+Framework%2C+Principles%2C+and+Guidelines-p-9780787987701>
3. ANDERSON, T. (2008). *The Theory and Practice of Online Learning*. Available at: https://www.aupress.ca/app/uploads/120146_99Z_Anderson_2008-Theory_and_Practice_of_Online_Learning.pdf
4. MEANS, B., TOYAMA, Y., MURPHY, R., BAKI, M. (2013). The effectiveness of online and blended learning: A meta-analysis of the empirical literature. *Teachers College Record*, 115(3), 1–47. Available at: <https://www.tcrecord.org/Content.asp?ContentId=16882>
5. BONK, C. J., GRAHAM, C. R. (2012). *The Handbook of Blended Learning*. Available at: https://www.researchgate.net/publication/265222446_SYNDROME_DE_CHEVAUCHEMENT_LUPUS_ERYTHEMATEUX_SYSTEMIQUE_POLYARTHRITE_RHUMATOIDE_CHEZ_UN_HOMME_AGE
6. DZIUBAN, C., GRAHAM, C. R., MOSKAL, P. D., NORBERG, A., SICILIA, N. (2018). Blended learning: The new normal and emerging technologies. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 15(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s41239-017-0087-5>
7. CLARK, R. E., MAYER, R. E. (2016). *E-Learning and the Science of Instruction: Proven Guidelines for Consumers and Designers of Multimedia Learning*. Available at: <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3480061>
8. WARSCHAUER, M., MATUCHNIAK, T. (2010). New technology and digital worlds: Analyzing evidence of equity in access, use, and outcomes. *Review of Research in Education*, 34(1), 179–225. <https://doi.org/10.3102/0091732X09349791>
9. BRYNJOLFSSON, E., MCAFEE, A. (2014). *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. Available at: <https://psycnet.apa.org/record/2014-07087-000>
10. ERTMER, P. A., OTTENBREIT-LEFTWICH, A. T., SADIK, O., SENDURUR, E., SENDURUR, P. (2012). Teacher beliefs and technology integration practices: A critical relationship. *Computers & Education*, 59(2), 423–435. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.02.001>
11. LearningBuddiesNetwork.com (2023). *How the Widespread Availability of the Internet Has Influenced Academic Achievement in Schools*. Available at: <https://www.learningbuddiesnetwork.com/blog-and-news/how-the-widespread-availability-of-the-internet-has-influenced-academic-achievement-in-schools?>

12. KIRSCHNER, P. A., DE BRUYCKERE, P. (2017). The myths of the digital native and the multitasker. *Teaching and Teacher Education*, 67, 135–142. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tate.2017.06.001>
13. MAYER, R. E. (2014). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Cambridge University Press. Available at: <https://www.cambridge.org/core/books/cambridge-handbook-of-multimedia-learning/9781107035201>
14. Pew Research Center. (2014). *More Information Yields More Learning and Sharing*. Available at: <https://www.pewresearch.org/internet/2014/12/08/more-information-yields-more-learning-and-sharing/>
15. Pew Research Center. (2012). *The Mixed Impact of Digital Technologies on Student Research*. Available at: <https://www.pewresearch.org/internet/2012/11/01/part-ii-the-mixed-impact-of-digital-technologies-on-student-research/>
16. ERIC. (2022). *The Impact of Internet Usage on Students' Success in Secondary Schools*. Available at: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1353463.pdf?%20>
17. Vali, I. (2023). *The Impact of Technology on Collaborative Learning*. Available at: <https://www.europeanproceedings.com/article/10.15405/epes.23045.13>
18. PÉREZ-JUÁREZ, M.Á., GONZÁLEZ-ORTEGA, D., AGUIAR-PÉREZ, J.M. (2023). *Digital Distractions on Higher Education Students*. Available at: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/7/6044>
19. KUNCORO, K. S., MARTADIPUTRA, B. A. P., JUPRI, A., HENDRIYANTO, A. (2023). *A rapid Review of the Impact of Digital Distraction on Mathematics Online Learning*. Available at: <https://www.pewresearch.org/internet/2012/11/01/part-ii-the-mixed-impact-of-digital-technologies-on-student-research/>
20. TUTTLE, C. (2020). *Designing a toolbox to Improve creative output: A Guide for Cultivating Critical, Creative, and Conceptual Thinking Skills in an Increasingly Distracted Society*. Available at: https://scholarworks.umb.edu/cct_capstone/381/

FAKE NEWS DETECTION USING AI AND MACHINE LEARNING

Eduard OBERST*, Maxim CERETEU, Daniel NICORICI.

Department of Software Engineering and Automation, group FAF-243, Faculty of Computers, Informatics and Microelectronics, Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova

*Corresponding author: Eduard OBERST, email eduard.oberst@isa.utm.md

Abstract. *Fake news is a problem of increasing importance in the world, and AI and machine learning (ML) are helping to fight it by identifying potential hoaxes. This paper compares the application of traditional models and deep learning techniques in the context of various ML and NLP strategies, from the basic to the sophisticated (e.g., BERT, GPT). Some of the key challenges include; limited and costly annotated datasets, bias in models, and adversarial attacks on the information. The findings of the study show that transformer models are more effective than the traditional methods, but they are prone to ethical concerns and adversarial attacks. Combining the linguistic and network-based approaches holds the promise of further enhancing the model's performance. Future work should aim to increase the flexibility, reduce the bias, and include a human factor in the process of detecting misinformation with the help of AI.*

Keywords: *algorithmic bias, AI ethics, computational journalism, digital media analysis, misinformation prevention.*

Introduction

The increasing prevalence of fake news in digital media is threatening the perception poll, political stability and societal trust. Online platforms have enabled the spread of misinformation which in turn affects opinions and decision-making processes. Although conventional fact checking is slow and not very efficient for all the content, AI and ML can help in detecting fake news efficiently.

Previous research has investigated different ways of detecting misinformation using ML techniques and both linguistic and statistical approaches. However, existing models are prone to bias, adversarial attacks and the dynamic nature of misinformation. Deep learning and NLP techniques are currently leading in detection accuracy but fairness, robustness, and adaptability in these systems are still an issue.

This study tries to contribute to the improvement of current fake news detection methodologies by comparing different ML and NLP techniques, evaluating their effectiveness and understanding their limitations. The research is conducted in a systematic way to include feature extraction, model training, and real-world dataset evaluation. From the comparison of the present models, this work is aimed at enhancing the reliability and ethics of AI-based misinformation detection systems.

Training AI models for Fake News Detection

The process of training an AI model for fake news detection begins with data collection, preprocessing, feature extraction, and model choice. Both supervised and unsupervised learning algorithms are used in the identification of real and fake news. The most commonly used models include SVM, Naive Bayes classifiers, Random Forests, and deep learning architectures such as LSTM networks and Transformers. They enable text classification based on linguistic features, word frequencies, and semantic patterns[1].

Feature extraction is a very important part of the process of training the AI models. Some of the NLP techniques that are commonly used include TF-IDF, word embedding techniques like

Word2Vec, GloVe, and BERT, and sentiment analysis. The TF-IDF is a feature selection method that determines the word importance in a document and word embedding techniques like Word2Vec and BERT capture word context which is useful to improve the accuracy of the classification model. Furthermore, other metadata features that improve the model accuracy include source credibility, user interaction and the spread of information. This knowledge of how fake news propagates across social networks enables the AI models to make better inferences.

The models' performance can be improved through the use of the bagging and boosting ensemble learning techniques to combine multiple models to reduce bias and variance, respectively. These ensemble models train many algorithms on the same set of data and, therefore, enhance the overall prediction capability. The hybrid approach, which combines linguistic analysis and network analysis, has been found to improve the accuracy of the classification model. Furthermore, the use of deep learning strategies, especially transformer models such as BERT and GPT, has been found to perform better in identifying subtle changes in the language used in the text, which is useful in identifying fake news created by AI from real news articles. Therefore, using these sophisticated strategies, researchers are able to tell the differences in the tone, sentiment, and length of the text that can help reveal the fake content from the real one[2].

Data Collection Methods and Challenges in Labeling Fake News

The accuracy of the AI models depends on the quality and diversity of the training data. The fake news datasets are usually acquired from fact-checking websites, e.g., PolitiFact, Snopes, and from Kaggle repositories. They provide examples of news articles, which are labeled as true or false, which can be used for training the machine learning models. Sample data may be gathered from social media platforms, news aggregators and online forums which are prone to misinformation. It is important to ensure diversity, therefore, variations in writing styles, domains and content formats need to be captured in the datasets[3].

The main challenge in using fake news detection models in their training phase is the identification of the news articles. For the purpose of identifying the real from the fake, human verification is required but this is a time consuming and subjective exercise. Fact checking organizations use domain experts to label the datasets but this is not always accurate due to different perceptions of the truth. Some articles may be partially true partially false and this makes the binary classification. Furthermore, the biases in the data used can lead to unfair models that lead to unequal classification results. These biases can be addressed through diversified datasets that include multiple angles and verification sources[4].

The third major problem is the dynamics of fake news. The reason is that misinformation is stochastic in nature and, therefore, both the datasets and the models must be updated in real-time. The strategies of fake news include using trending topics, which means that content is created to match the current events, thus, static datasets are not good in the long run. The AI-generated fake news is another challenge because of the synthetic content that is hard to distinguish from the human-written one. The current developments in generative AI, including the GPT models, have enabled the creation of complex disinformation. Therefore, detection models must include real-time surveillance, contextual and semantic analysis to detect the changing characteristics of misinformation[5].

In order to address these challenges, researchers propose hybrid models that combine linguistic, network-based, and user interaction features to increase accuracy. Future work should be aimed at the development of adaptive frameworks that take advantage of the reinforcement learning to enhance the robustness of the model with the time. Also, there is need for joint efforts of computer scientists, journalists, and social scientists to address the ethical implications of the AI system's application in the fight against misinformation.

Comparative analysis of different machine learning and NLP techniques

The detection of fake news has advanced with the development of machine learning (ML) and natural language processing (NLP) techniques. Conventional ML approaches, deep learning models and transformer-based architectures have also been applied to the solution of the misinformation problem. Every approach has its advantages and disadvantages, which affects its efficiency in real-world settings.

Traditional ML models include SVM, decision trees, and Naive Bayes classifiers that use handcrafted linguistic and statistical features like word frequency and sentiment analysis to classify news articles. These approaches are understandable and fast, but they have limited ability to generalize from the input, leading to low accuracy in identifying complex misinformation [6].

Deep learning models including RNNs, CNNs and LSTM networks are better than traditional ML techniques. These models capture contextual dependencies and more semantic features of the text, and therefore are more suitable for detecting misleading content [7]. However, they have high computational costs and a high need for labeled data which is difficult to obtain for practical application.

Transformer architectures including BERT and GPT have improved the fake news detection capabilities further. These models apply contextual embeddings and self-attention to accurately interpret the subtle details of the text [8]. Despite their high accuracy, they are prone to adversarial attacks and may sometimes provide erroneous outputs, which poses a threat to their robustness and usability [9]. The NLP model fidelity improves with the NLP technique evolution, but the computational expense is a significant issue.

Effectiveness of current AI models in detecting fake news

The ability of the AI models to detect fake news depends on the purity of the data used, the level of model complexity and the available resources. Conventional ML models are simpler and more efficient but do not possess the sophistication required for correct identification of misinformation. The use of deep learning techniques enhances the classification accuracy but at the expense of having to train the model on large amounts of data. Transformer models are currently the most sophisticated in NLP and although they provide high accuracy, they are costly and easily fooled by adversarial attacks.

Recent studies show that the use of combination of detection methods which include linguistic analysis, network-based detection and real-time adaptation can improve the model robustness. The combination of deep learning and traditional ML features in hybrid models has been found to improve the accuracy of the classification process. Adversarial robustness and explainability of AI models are also under significant research to address the weaknesses of current models and enhance the credibility of misinformation detection in digital media.

Although AI models are useful in identifying fake news, there are still some problems with the ability to adapt to the new types of misinformation. These detection systems must update their training data and approaches frequently to stay relevant in the fight against new threats to the information environment. Therefore, the future of fake news detection is in the integration of AI models with human-in-the-loop verification techniques in order to increase the credibility of the information being spread.

Limitations and potential biases of AI

The availability of large data sets has enabled the identification of new insights through the use of computers. Consequently, algorithms; a set of mathematical formulas that describe how to solve a problem and that computers follow to make decisions, have become more sophisticated and pervasive tools for automated decision making. Although algorithms are used in many contexts, we are interested in computer models that make inferences about people, their

identities, their demographic attributes, their preferences, and their likely future behaviour as well as the objects related to them[10].

The improvement in the application of artificial intelligence (AI) to healthcare and other fields has also been accompanied by concerns in the fairness and bias of the resulting AI systems. This is particularly important in areas such as healthcare, employment, criminal justice, credit scoring and now generative AI models (GenAI) that produce synthetic media. Such systems can lead to unfair outcomes and perpetuate existing inequalities, including generative biases that influence the representation of individuals in synthetic data[11].

Ethical implications of widespread AI deployment for misinformation control

The federal government is getting ready for severe artificial intelligence tools to oversee civilian protests and quell dissent, a new congressional report has warned. The executive branch of the federal government has spent millions of dollars of taxpayer money in the creation of AI tools that can be used to surveil and censor in mass, resulting in the suppression of protected speech, as a new report from the House Subcommittee on Government Weaponization, which was shared exclusively with The Post[12].

Pope Francis has also given several warnings regarding the dangers of AI technology, and this new document by the Vatican's doctrine and cultural offices expands on what the pontiff has already said. It comes as a new AI chatbot by Chinese tech startup DeepSeek has ramped up the competition in the AI technology race, replicating American generative AI leaders at a fraction of the cost. It also states that the concept of human responsibility should develop in conjunction with new technologies, and that the effects of the usage of AI in different fields 'are not always inevitable from the beginning'. "The document said in its conclusion that AI should only be used as a tool to enhance the human intelligence and not to diminish the richness of intelligence. The AI Center at Carnegie Mellon University has announced a \$100 million grant from Google to create new AI safety techniques. The tech industry is grappling with the unprecedented challenges posed by AI, as a bipartisan group of lawmakers is pushing for a federal holiday on Capitol Hill to reflect and resolve issues related to the technology[13].

Conclusions

This paper has aimed at determining the effectiveness of using AI and ML in identifying fake news and in so doing presents their advantages and disadvantages. The results show that although traditional ML models are easy to interpret, deep learning and transformer-based models perform better in identifying misinformation. However, problems such as data bias, adversarial attacks, and the dynamics of fake news are still an issue.

The research also establishes that AI models need periodic updating of the training data and self-adjusting learning rate to maintain their effectiveness. Also, fairness and transparency should be considered when designing ethical AI systems to avoid perpetuating biases in misinformation. It seems that the hybrid models that combine linguistic, network-based, and human-in-the-loop verification are the most effective to fight misinformation.

Future work should aim to improve the robustness of the models, defend against adversarial attacks, and ensure the ethical use of AI in detecting fake news. Thus, increasing the flexibility of these models and improving data collection can help make AI-based misinformation detection systems an essential tool in the fight against post-truth era.

References

1. AHMAD, I., YOUSAF, M., AHMAD, M. O. Fake news detection using machine learning ensemble methods [online]. Complexity, 2020, Article ID 8885861. [accessed 20.03.2025]. Available: <https://doi.org/10.1155/2020/8885861>

2. NANABALA, C., MOHAN, C. K., ZAFARANI, R. Unmasking AI-generated fake news across multiple domains [online]. Preprints, 2024. [accessed 20.03.2025]. Available: <https://doi.org/10.20944/preprints202405.0686.v1>
3. BAARIR, N. F., DJEFFAL, A. Fake news detection using machine learning [online]. IEEE Xplore, 2021. [accessed 20.03.2025]. Available: <https://doi.org/10.1109/IHSH51661.2021.9378748>
4. KHANAM, Z., ALWASEL, B. N., SIRAFI, H., RASHID, M. Fake news detection using machine learning approaches [online]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2021, 1099(1), 012040. [accessed 20.03.2025]. Available: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1099/1/012040>
5. SHU, K., WANG, S., LIU, Y., TANG, J. Understanding user profiles on social media for fake news detection [online]. ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data, 2020, 14(3), 1–23. [accessed 20.03.2025]. Available: <https://doi.org/10.1145/3381027>
6. SHU, K., SLIVA, A., WANG, S., TANG, J., LIU, H. Fake news detection on social media: A data mining perspective [online]. ACM SIGKDD Explorations Newsletter, 2017, 19(1), 22–36. [accessed 20.03.2025]. Available: <https://doi.org/10.1145/3137597.3137600>
7. ZHOU, X., ZAFARANI, R. Fake news detection: A data mining perspective [online]. ACM Computing Surveys (CSUR), 2018, 51(3), 1–37. [accessed 20.03.2025]. Available: <https://doi.org/10.1145/3161603>
8. VASWANI, A., SHAZEER, N., PARMAR, N., USZKOREIT, J., JONES, L., GOMEZ, A. N., KAISER, L., POLOSUKHIN, I. Attention is all you need [online]. In: Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS), 2017, 5998–6008. [accessed 20.03.2025].
9. ZELLERS, R., HOLTZMAN, A., RASHKIN, H., BISK, Y., FARHADI, A., ROESNER, F., CHOI, Y. Defending against neural fake news [online]. In: Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS), 2019, 9051–9062. [accessed 20.03.2025].
10. RAJI, I. D., BUOLAMWINI, J. Algorithmic bias detection and mitigation: Best practices and policies to reduce consumer harms [online]. Brookings Institution, 2020. [accessed 20.03.2025]. Available: <https://www.brookings.edu/articles/algorithmic-bias-detection-and-mitigation-best-practices-and-policies-to-reduce-consumer-harms/>
11. YAKUBOVICH, S., SLOANE, M. Ethical implications of generative AI in decision-making [online]. SSRN, 2024. [accessed 20.03.2025]. Available: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4883478
12. House Subcommittee on Government Weaponization. Threat of mass AI-powered government censorship is on the rise [online]. New York Post, 2024. [accessed 20.03.2025]. Available: <https://nypost.com/2024/12/18/us-news/threat-of-mass-ai-powered-government-censorship-is-on-the-rise-ominous-house-panel-report-shows/>
13. Independent. AI and Vatican concerns: Pope Francis warns about risks of AI technology [online]. The Independent, 2024. [accessed 20.03.2025]. Available: <https://www.independent.co.uk/news/world/europe/ai-vatican-pope-francis-deepseek-b2688259.html>

WI-FI SECURITY IN UNIVERSITIES

Ecaterina KUSHNIRENKO*, Valeria POSTICA, Ionuț ȘOIMU

FAF-243, FCIM, Technical University of Moldova, Chișinău, Republic of Moldova

*Corresponding author: Ecaterina KUSHNIRENKO, ecaterina.kushnirenko@isa.utm.md

Coordinator: Elena COJUHARI, associate professor, doctor at TUM

Abstract. *As universities increasingly depend on wireless networks for academic, research, and administrative functions, ensuring secure and stable Wi-Fi access has become a priority. These networks, which accommodate thousands of users and devices daily, are frequent targets for cyberattacks[]. Basic security measures like encryption, firewalls, and password protection provide a bare minimum of security but are typically insufficient against advanced and changing threats. With ever-changing university networks, enhanced security mechanisms are required. This paper expounds on how university Wi-Fi security can be improved using machine learning through enhanced real-time threat detection and response. It specifically discusses the potential of two-stage intrusion detection systems with Explainable Artificial Intelligence (XAI) for improved threat detection and blocking. In addition, deep learning technologies such as Deep Neural Networks (DNN) and Stacked Autoencoders (SAE) are tested on their effectiveness for identifying malicious activities and optimizing network security. With these new technologies, universities and colleges can establish a stronger cybersecurity platform, securing reliable and protected wireless access to their academic communities.*

Keywords: *cybersecurity, intrusion detection, machine learning, network security, university, Wi-Fi*

Introduction

The increased dependence on Wi-Fi networks in academic campuses has experienced changes in the interactions of students, faculty, and administrative staff with digital resources. Wireless connectivity has been preferred by the universities so as to allow uninterrupted access to online learning platforms, tools for collaborative research, and institutional databases. On the other hand, this higher dependence on wireless networks has expedited scaring concerns. University Wi-Fi networks are vulnerable to cyber threats such as unauthorized access, malware attacks, or data breaches, mainly because of the huge number of users and an extensive variety of connected devices.

Some traditional security measures, such as WPA2/3 encryption, firewalls, and user authentication, are instrumental in protecting such networks from threats. However, the large and ever-changing user population present in university settings comes with the challenges to both detect and respond to new and sophisticated threats. Moreover, with new users and devices constantly joining the system, and each creating new vulnerabilities, it has become increasingly complex to detect and mitigate threats when possible.

By means of powerful IDS and deep learning techniques, institutions can come into the front line of cyber threat detection, analysis, and prevention. The study will include the use of Explainable Artificial Intelligence (XAI) to optimize detection mechanisms and enhance response efficiency. Further, deep learning frameworks that will be taken into account include Deep Neural Networks (DNN) and Stacked Autoencoders (SAE).

Wi-Fi Security in Universities

In today's interconnected world, reliable Wi-Fi access is no longer a luxury, but a necessity. This is especially true within university environments, where students, faculty, and

staff rely heavily on wireless networks for learning, research, communication, and administrative tasks. Universities have embraced Wi-Fi technology to create interconnected learning environments. However, this reliance also makes university Wi-Fi networks prime targets for cyberattacks, necessitating a proactive and adaptive approach to security.

Typical security measures for public Wi-Fi sources often include password protection, encryption protocols (like WPA2/3), and firewalls. However, these measures can be insufficient to protect against advanced attacks, especially in high-traffic, diverse user environments like universities. Public Wi-Fi networks are often vulnerable to various security threats, including eavesdropping and malware distribution[2].

University Wi-Fi networks typically consist of several key hardware and software components. Access points (APs) provide wireless connectivity, while routers manage network traffic and connect the Wi-Fi network to the internet. Firewalls and intrusion detection systems (IDS) monitor network traffic for malicious activity. Authentication servers verify user credentials, and network management software provides administrators with tools to monitor and manage the network. A study[3] on Wi-Fi data analysis based on machine learning proposes a unique method using machine learning to detect abnormalities and probable security breaches in Wi-Fi networks, addressing data security and vulnerability issues[1].

Large-scale university Wi-Fi networks are difficult to administer. These networks serve thousands of users and devices with varying security requirements and usage patterns. Traditional security systems can find it hard to keep up with all the events produced by these networks, thus delaying detection and response to threats. Furthermore, the dynamic nature of university networks, with users constantly joining and leaving the network, adds another layer of complexity. A machine learning-based two-stage Wi-Fi network intrusion detection system can improve the performance of intrusion detection by selecting the most relevant features and filtering out noisy ones, using Explainable Artificial Intelligence (XAI) to implement efficient countermeasures against intrusions. Some types of impact are: better detection and response, increased security, optimized allocation of resources, and improved user experience-cost saving being a major one.

Some examples of campus Wi-Fi setups would depend on the size and resources available at that institution. Some universities may have centralized Wi-Fi networks with a single set of access points and set of security policies. Other more distributed approaches are used where departments or colleges manage their own Wi-Fi networks. Whatever setup is in place, every university Wi-Fi network faces the same basic challenge of providing secure and reliable wireless access to a large number of users from disparate backgrounds. Deep learning algorithms such as Deep Neural Networks (DNN) and Stacked Autoencoders (SAE) can be used to classify different kinds of network attacks in Wi-Fi networks with high accuracy, with significant enhancements to detection accuracy and computational time.

Common Vulnerabilities

It is known that public networks can become dangerous places for people who use them, this is also relevant to APs hosted by universities. Because of the big load for hosts, it is harder to check the obedience of each user to the ethics code of using a public Wi-Fi. Further on, this can lead to accidents happening, in which each stakeholder, in our case the professors, administration, students, and university workers in general, can have a negative impression.

Thus, we introduce you to the most often occurring attacks that may happen in a public network. Wanting to raise awareness and improve the university's structures, let's first familiarize ourselves with potential dangers.

Most of them are focused on data interception, which can be crucial for universities, as personal data of students stored at the administration or personal and banking data of university workers may be stolen, which also implies that the course materials and access to the university's resources may be compromised.

Firstly, the man-in-the-middle attack, where the malicious actor intercepts communication between two parties without their knowledge[1], may happen during the logging in process of students to university servers to gain access to the course materials or the data about grades. This poses risks for students' privacy and leads to identity theft, which in turn may impact their academic and professional futures[4].

The second most often encountered type of attack is malware injection. During this attack, the malicious actor is exploiting the vulnerabilities of the public network and injecting malware into the connected devices which allows remote execution of malicious software and scripts. This type of attack may lead to data breaches, leaks of sensitive information, blackmail, or even future ransomware attacks.

The third commonly encountered one is session hijacking. This attack consists of an attacker taking control over the user's active web application sessions by stealing their cookies or tokens. This has potential dangers of impersonating users of their academic-related sites, gaining access to accounts, emails, and private university portals. This provokes unauthorized actions within university systems.

Security breaches were and are met during the whole existence of public networks. There are numerous cases of data breaches in known universities, which should be analyzed and taken seriously.

In October 2023, Stanford University's Department of Public Safety was targeted by a ransomware attack. This attack compromised 430 GB of private information and confidential documents[5].

In May 2023 multiple universities including ucla and rutgers were influenced by a ransomware group that exploited the moveit software vulnerabilities. This software was used for file transfer; thus, data such as social security numbers and financial information were stolen.

In 2023, the University of California systems were under digital attack. It has permitted unauthorized access to sensitive students and employees records. This has happened because of poor protocols within university systems and almost non-existent cybersecurity training of the responsible personnel.

Difficulties and Solutions

The Wi-Fi network deployment in the university setting faces several interrelated challenges that serve the purpose of providing coverage with services delivered reliably and securely all over the campus. Universities are unique in the fact that a large number of clients—students, faculty, and administrative staff—require network access all through the day while maintaining good speed amongst a few visitors. Signal coverage throughout the whole building and highest performance during a large number of connected clients and devices are two fundamental issues through installation.

The first issue is always the physical limitation of old-generation routers. In many cases, the main router, which is in charge of broadcasting the network, may not have an adequate set of antennas to ensure that every nook and cranny of the building receives a strong and steady signal. This shortcoming might immediately drive an administrator to look for signal boosters or to replace the current hardware with routers that boast stronger antennae. Although these measures can indeed extend the range and improve signal quality, they might not be sufficient on their own—especially when confronted with the exponential increase in network demand that occurs as more devices connect.

A related complication is the sheer number of devices expected to be connected simultaneously. Most of the standard networking protocols operate below an upper limit, usually of 255 devices allowed per router. After this limit is reached, more clients on the opposing side can cause congestion and may lead to a Denial-of-Service (DoS) event, where the system goes

into a stutter. This blend of too many connections and limited hardware capacities brings in several performance-and-security issues, combining to make the overall network vulnerable.

One possible novel approach to address these issues is to establish a mesh network. In a mesh setup, multiple routers are deployed throughout the university, each broadcasting its own signal while operating under a unified Service Set Identifier (SSID) and on coordinated channels. This approach ensures that devices seamlessly connect to the strongest available works often rely on central management systems, such as those offered by Ruckus or Ubiquiti. Based on the current network usage and priority levels, these systems immediately redistribute bandwidth to assigned paths. They also ease daily chores for an admin, for example, renaming hotspots, setting passwords, or determining new access policies, so that the admin can focus on more important things.

Security is an ever-important issue in any given university network deployment. Since campus Wi-Fi is usually open, this leads to not only legitimate users but also unauthorized intruders. Traditionally, this risk was usually dealt with by relying on strong authentication mechanisms. However, eff signal, thus offloading any single router. And, with its network distributed among multiple nodes, this in itself balances the load, thereby reducing the risk associated with numerous simultaneous connections. Alongside coverage and capacity concerns, bandwidth allocation is a big challenge. Not every device connected to the network requires the same level of bandwidth; for instance, a Point of Sale (POS) terminal does not need as much capacity as a student streaming a lecture. A static allocation method might inadvertently assign too much bandwidth to less critical devices, leading to inefficiencies and user dissatisfaction. To address this, modern netwective in filtering out unwanted devices, such systems sometimes require users to install additional applications or remember complex credentials, which can be inconvenient. An alternative approach is the use of whitelisting, where only pre-approved devices are granted access. However, whitelisting carries its own set of risks; if a trusted device is compromised, an attacker could potentially exploit that trust to gain network access.

A more sophisticated strategy involves deploying an intrusion detection system (IDS) powered by machine learning algorithms. These algorithms excel at pattern recognition, allowing the system to continuously monitor network traffic for any anomalies or unusual behavior. When an irregular pattern is detected, the system can quickly identify and isolate the problematic device—either by alerting administrators or by automatically blacklisting it. This proactive approach not only enhances security but also minimizes the downtime that would result from manual intervention, ensuring that the network remains both robust and resilient against potential threats.

Moreover, the successful implementation of a comprehensive Wi-Fi network in a university extends beyond the hardware and software solutions described above. It requires careful planning and continuous monitoring to adapt to evolving demands. Factors such as building architecture, interference from other electronic devices, and even seasonal variations in network usage must be taken into account during the planning and execution stages. Thorough site surveys, regular performance evaluations, and adaptive network management are all essential components in maintaining a network that meets the high expectations of a modern academic environment.

Conclusions

In representation of the increasing reliance on Wi-Fi networks in university settings, the unfolding has brought to the aroma of security-and-inconvenience issues of having wireless connectivity on a mass scale. Whereas universities subject seamless access to students, faculty, and staff, the inherent vulnerabilities of the public Wi-Fi networks make them appealing cyber targets. Common security issues, which may include breach of privacy, rogue access points, or sniffing, compromise personal data and institutional data, as various well-publicized cyberattacks have shown against the civil higher education institute.

To manage campus Wi-Fi in a more cohesive manner, a multilayered security approach has to be employed. It is also imperative that encryption systems, strong authentication mechanisms, and intrusion detection engineering be entrenched to reduce risks. Considering the continuously changing nature of a university environment, the solution must scale with high-performance value while catering to an increasing number of users and devices; that is, a solution that is centrally managed, offers flexible access policies, and presents an advanced security framework to optimize resource allocation and enhance threat protection.

Machine learning appears surely a hope in Wi-Fi security, providing more thorough intrusion detection, anomaly detection, and automated threat response. By mashing deep learning techniques, universities can upscale the ability to react to threats and create pre-emptive security mechanisms that respond to ever-changing cyberspace risks. By means of this integration, mesh network infrastructure can enhance coverage and load distribution, thereby rendering better performance and security.

Lastly, university Wi-Fi networks require a confluence of technological improvements, administrative policies, and user awareness for full security status. Continuous monitoring coupled with periodic security updates, as well as cyber-security education for university staff and students, will go a long way in making the network resilient and trustworthy. As colleges undergo digital transformations, new ways of securing academic resources and personal information from the menace of cyber attacks will have to be established.

References

1. SRIVASTAVA, G., et al. XAI for cybersecurity: state of the art, challenges, open issues and future directions. arXiv preprint arXiv:2206.03585, 2022. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2206.03585>
2. FAIZ, A. H., et al. Wi-Fi network analysis of university campus. In: Proc. of the Int. J. of Computer Science and Network Security. 2020. p. 40-45. https://www.researchgate.net/publication/345316941_Wi-Fi_Network_Analysis_of_University_Campus
3. SOLIS, A.; MARLON, B. et al. Security Evaluation of Open Access Wi-Fi Networks in a Public University in Junin, Peru. 2024. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/15619>
4. MUSARURWA, S.; GAMUNDANI, A. M.; SHAVA, F.B. A review of security challenges for control of access to Wi-Fi networks in tertiary institutions. In: 2017 IST-Africa Week Conference (IST-Africa). IEEE, 2017. p. 1-8. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8102371>
5. OHEI, K. N.; BRINK, R. The Effectiveness of Wi-Fi-Network Technology on Campuses and Residences for an Improved Learning Experience and Engagement. Mousaion, 2021, 39.1. <https://journals.co.za/doi/abs/10.25159/2663-659X/7842>

A REVIEW ON GOLDBACH CONJECTURE: HISTORY, PROGRESS, OPEN QUESTIONS

Andrei CLIUCOVSCI^{1*}, Nichita RUSNAC², Olga ȘABAN²

¹Department of Software Engineering and Automation, group FAF-241, Faculty of Computers, Informatics, and Microelectronics, Technical University of Moldova, Chișinău, Republic of Moldova

²Department of Software Engineering and Automation, group FAF-242, Faculty of Computers, Informatics, and Microelectronics, Technical University of Moldova, Chișinău, Republic of Moldova

*Corresponding author: Andrei CLIUCOVSCI, andrei.cliucovschi@isa.utm.md

Coordinator: Elena COJUHARI, associate professor, doctor at TUM

Abstract. *This paper outlines a comprehensive study of the Goldbach Conjecture, the most famous unsolved problem in number theory, and its applicability to optimization, magic squares, and cryptography. From the origin of the conjecture, this paper chronicles the progress from the correspondence between Christian Goldbach and Euler to computer-aided verification in the present times. Substantial progress includes Vinogradov's initial proof of the weak conjecture and Helfgott's final solution, as well as numerical computation by scientists like Sinisalo. After that, the attention turns to practical applications, showing how the conjecture's concept of expressing even numbers as primes in sums can be used to support resource allocation and enhance cryptographic techniques. In particular, the article addresses its usage in magic squares for safe communication, where prime number pairs act as keys for verification of messages. For solving optimization issues in cryptography, two heuristic methods are described to optimize selection of prime pairs to construct even-numbered sums with good performance. The methods balance quality of results and execution time and are therefore appropriate for large applications. Through the juxtaposition of theoretical insight and experiential knowledge, the paper is an effective, logically structured introduction for neophytes and a compelling demonstration of the interdisciplinarity of the Goldbach Conjecture.*

Keywords: cryptography, magic squares, number theory, optimization, prime numbers

Introduction

The Goldbach conjecture, one of the most famous unsolved problems in number theory, has its origins in the early 18th century. The conjecture is named after Christian Goldbach, a Prussian mathematician who, after completing his studies, embarked on extensive educational journeys across Europe from 1710 to 1724. During his travels, Goldbach interacted with some of the most prominent mathematicians of his time, including Gottfried Leibniz, Leonhard Euler, and Nicholas I Bernoulli, in countries such as Germany, England, the Netherlands, Italy, and France. These interactions not only enriched his mathematical knowledge but also laid the groundwork for his later contributions to number theory.

As to bring some clarity to the research, we will use the following terminology. By $\text{CountP}(p_i)$ we will denote $|\{e : R(j,i) = 1, e \text{ is in } E\}|$ the number of even numbers that p_i can span and thus, $\text{CountE}(e)$ is for $|\{p_i : R(j,i) = 1, p_i \text{ is in } P\}|$ reflects the number of primes that can span e , where $R(j,i)$ represents binary relation to describe the fact that p_i and p_j , two prime numbers, span an even integer e .

History

Goldbach's conjecture was first proposed in a letter to Euler in 1742 [1]. In this correspondence, Goldbach suggested that every odd integer greater than 5 could be expressed as the sum of three prime numbers. This suggestion became known as the **3-primes problem** or

Goldbach's weak conjecture. Euler, in his reply, expressed his belief in the conjecture's validity, as well as providing a refined statement, that became the **Goldbach's conjecture**:

"Every even integer greater than 2 could be expressed as the sum of two prime numbers"

This simple yet profound statement has captivated mathematicians for centuries, earning it the reputation as the "pearl on the crown of number theory," as later described by mathematician Chen Jingrun.

Goldbach's weak conjecture was soon simplified to the fact that it is implied in Goldbach's conjecture, meaning if the strong conjecture was to be proven, the weak version would be proven as well. Even with the similar natures of those problems, proving one was much easier than the other. The weak conjecture was conditionally proven by Ivan Vinogradov in 1937, by forming his Vinogradov's theorem, he proved that for some sufficiently large number the Goldbach's weak conjecture holds true. Based on that theorem, Peruvian mathematician Harald Helfgott has improved the bounds of conditions and eventually proved the weak conjecture in 2014. [2]

This development has provided new understanding of approaches to the Strong Goldbach's conjecture, boosting progress on researching the problem.

Progress

In 1964, **Mok Kong Shen** made significant advancements in understanding the conjecture's validity by analyzing the distribution of primes. He used analytical methods related to the prime number theorem and worked on improving the bounds for the error term in representations of even numbers as sums of two primes. In the same period (1965), **Stein and Stein** focused on improving the results regarding the density of prime numbers and the conditions under which even numbers can be written as the sum of two primes. Later, **Granville** (1989) and his collaborators incorporated modern developments in analytic number theory, by using tools like sieve methods and probabilistic models to study the conjecture more deeply, making progress in understanding the statistical behavior of prime numbers and provided new insights into how the primes are distributed [4].

Inspired by his predecessors, Matti K Sinisalo, who is a fin professor in mathematical science (having degrees in Algorithms in Number Theory, Computer Algebra, Elementary and Algebraic Number Theory, Error Correcting Codes, Cryptology, Digital Signal Processing, Finite Fields, Elliptic Curves), made a several researches regarding different conjectures, such as Collatz conjecture, Segal's Conjecture, Conjecture on Prime Numbers in Arithmetic Progressions etc. one of them being the Goldbach conjecture (1993). In his scientific work, he mentions: *"Mok Kong Shen ...checked the Goldbach conjecture up to 33,000,000. Stein and Stein checked the conjecture up to 10^8 and Light, Forrest, Hammond, and Roe in 1980 up to the same bound, independently. To the best of our knowledge the latest published result is due to Granville, van de Lune, and te Riele, who checked the conjecture up to $2 \cdot 10^{10}$ in 1989."* Using their previous investigations, Eratosthenes' sieve method and applying IBM 3083 mainframe^[3], Matti K Sinisalo managed to check the validity of conjecture for all even numbers up to $4 \cdot 10^{10}$. Even that it was used the most powerful computer at that time, still, Verification of the Goldbach conjecture required about 130 hours of cpu-time. In total, about 170 hours of computing time was used on this project [5].

In the same year, Larry Gerstein from United States, specialized on Quadratic Forms, Number Theory, aimed to reflect about the possible reformulation of Goldbach Conjecture, leading researchers to consider the binary quadratic form $x^2 - y^2$. A new statement, deduced from the base one, sounded like this:

"() For every integer $n \geq 2$ there exist integers k , p , and q , with $0 \leq k \leq n - 2$ and with primes p and q , such that $n^2 - k^2 = pq$."*

Whether or not (*) is true, mathematicians ask themselves how often $k=1$ works in (*) so that it can be connected to the following conjecture:

“(**) *There are infinitely many integers $n \geq 2$ for which there exist primes p and q such that $n-1 = pq$.*”

Statement (**) is clearly equivalent to the twin prime conjecture. Thus, while the Goldbach and twin prime conjectures are not the same, they are evidently facets of the same jewel.

Optimization Applications of Goldbach's Conjecture in Magic Squares and Cryptography

a. Why Optimization is Needed

Even though Goldbach Conjecture is primarily theoretical, it has practical implications in optimization. In various fields such as construction, engineering, and computational mathematics, efficient resource allocation is crucial. Selecting a minimal set of base components (in this case, prime numbers) to construct various required values (even integers) reduces complexity, cost, and storage requirements.

b. The Role of Goldbach's Conjecture in Magic Squares and Cryptography

Magic squares are numerical matrices in which the sum of numbers in each row, column, and diagonal remains constant. These structures have been historically used in recreational mathematics, but they also offer applications in encryption, authentication, and data hiding. In recent studies, Goldbach's Conjecture has been integrated with magic squares to enhance secure communication.

The core idea is to utilize Goldbach's property of even number decomposition into two primes to generate prime-based authentication keys. These prime pairs serve as components for constructing magic squares, which are then used for secure encryption and decryption. By embedding prime pairs into magic square structures, the security of transmitted messages is enhanced, reducing the risk of plaintext exposure during transmission. The structured randomness of magic squares, when combined with Goldbach's theorem, introduces a cryptographic layer that strengthens authentication and decryption mechanisms [5].

For decryption, an essential challenge is reconstructing the magic square from limited information while ensuring that only valid users can retrieve the original data. This requires an efficient way to determine the correct prime pairs and reconstruct even-numbered sums, which is where optimization plays a critical role.

To efficiently apply Goldbach's conjecture in decryption and authentication processes, we must select prime numbers optimally. The following algorithms ensure efficient selection of prime pairs and their application in reconstructing encrypted messages [6].

The optimization problem, known as the Minimum Number of Spanning Primes (MNSP), can be defined as follows:

Given a set of even numbers E_n and a set of primes P , find the smallest subset $P' \subset P$ such that every even number in E_n can be represented as the sum of two primes from P' .

Several integer programming (IP) formulations and heuristic approaches have been proposed to solve this problem efficiently.

Algorithm 1: Greedy Heuristic H1

H1 selects primes based on their potential to span the largest number of even integers. In cryptographic applications, this ensures that commonly used sums can be quickly reconstructed for authentication. The process follows these steps:

1. Compute the number of even numbers each prime can contribute to spanning.
2. Select the prime that spans the highest number of even integers.
3. Remove covered even numbers from the set and update contributions.
4. Repeat until all even numbers are spanned.

Time Complexity: $O(mn)$

Input: Set of n even numbers E and set of m primes P .

Output: Minimum number of primes for spanning the even numbers of E .

1. $P = \emptyset$ // Set of selected primes
2. Compute $\text{CountP}(pj)$ for each prime pj .
3. While E is not empty:
 - a. Select the prime pj^* with the highest $\text{CountP}(pj)$.
 - b. Add pj^* to P .
 - c. For each even number ei in E spanned by pj^* :
 - i. Remove ei from E if another prime in P spans it.
 - ii. Update CountP values accordingly.

Return: All selected primes in P .

Algorithm 2: Greedy Heuristic H2

H2 builds upon H1 by selecting prime pairs rather than individual primes. This is particularly useful in decryption, where we need to reconstruct sums from a known set of primes efficiently.

1. Identify the prime pair with the highest combined contribution.
2. Add both primes to the selected set.
3. Continue selecting the prime that spans the most remaining even numbers.
4. Repeat until all even numbers are covered.

Time Complexity: $O(m\alpha(m)(m+n))$ where $\alpha(m)$ is the inverse Ackermann function.

Input: Set of n even numbers E and set of m primes P .

Output: Minimum number of primes for spanning the even numbers of E .

1. $P = \emptyset$ // Set of selected primes
2. Compute $\text{CountP}(pj)$ for each prime pj .
3. Identify the prime pair (pj, pj') with the highest combined CountP .
4. Add pj and pj' to P .
5. While E is not empty:
 - a. Compute the number of even numbers newly spanned by each remaining prime.
 - b. Select the prime that spans the newest even numbers.
 - c. Add the selected prime to P and update E accordingly.

Return: All selected primes in P .

Tested on various dataset sizes, these algorithms showed that while integer programming yields optimal solutions, heuristics offer efficient approximations for larger instances, with H2 demonstrating the best balance between efficiency and quality.

Conclusion

In conclusion, this paper has provided a comprehensive exploration of the Goldbach Conjecture, tracing its historical origins, significant milestones, and modern computational advancements. By examining the conjecture's applications in optimization, magic squares, and cryptography, we have demonstrated its practical relevance beyond theoretical mathematics. The proposed heuristic algorithms, H1 and H2, offer efficient solutions for optimizing prime pair selection, enhancing cryptographic systems, and ensuring secure communication through magic squares. These findings underscore the interdisciplinary significance of the Goldbach Conjecture, bridging the gap between number theory and practical optimization challenges. As research continues, the insights gained from this study pave the way for further advancements in both mathematical theory and applied sciences, reaffirming the conjecture's enduring impact on the field.

References:

1. WEISSTEIN, E.W. Goldbach Conjecture. *MathWorld* [online]. 2025. [accessed: 27.02.2025]. Available at: <https://mathworld.wolfram.com/GoldbachConjecture.html>

2. SINISALO, M.K. Checking the Goldbach Conjecture up to 4×10^{11} . *Mathematics of Computation*, Providence: American Mathematical Society, 1993, 61, pp. 931–934.
3. FARANOT, L. Exploring Goldbach's Conjecture: A Journey across Centuries of Mathematical Intrigue. *ResearchGate* [online]. 2024. [accessed: 02.03.2025]. Available: [researchgate.net](https://www.researchgate.net)
4. GERSTEIN, L.J. A Reformulation of the Goldbach Conjecture. In: *Mathematics Magazine*, 1993, 66(1), pp. 44-45.
5. LI, H., LIU, C., CHEN, S.C-I. A Study of Authenticated Communication Based on Magic Square and Goldbach's Conjecture. *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*, 2020, 14, pp. 184-190.
6. LIN, B.M.T., LIN, S.M., SHYU, S.J. Optimization applications of Goldbach's conjecture. *Heliyon* [online], 2023, 9, e20550. [accessed: 12.03.2025] <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20550>

CHRONOLANG: A DOMAIN-SPECIFIC LANGUAGE FOR TIME SERIES ANALYSIS AND FORECASTING

**Sergiu DOBOȘ, Denis PLEȘCA*, Maxim COSTOV, Ștefan ISTRATI,
Pavel CIUMACENCO**

Department of Software Engineering and Automation, group FAF-232, Faculty of Computers, Informatics, and Microelectronics, Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova

*Corresponding author: Denis PLEȘCA, denis.plesca@isa.utm.md

Tutor/coordinator: Dumitru CREȚU, university assistant, Department of Software Engineering and Automation, Faculty of Computers, Informatics, and Microelectronics, Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova

Abstract. *This study introduces ChronoLang, a domain-specific programming language (DSL) designed for time series analysis and forecasting, which aims to address the limitations of existing tools when working with historical and real-time data processing. Along with the analysis of domain requirements, grammar design, and the implementation and development of a modular compiler architecture, the methodology involved a critical evaluation of existing tools like Pandas, SQL, and Apache Spark. In addition to its built-in forecasting capabilities using ARIMA, Prophet, and LSTM models, ChronoLang provides a native declarative model for temporal queries and extensible integration with a variety of data sources, such as CSV files, SQL databases, and MQTT/Kafka streams. By combining native streaming support and predictive analytics into a single, unified environment, ChronoLang tries to eliminate most of the architectural fragmentation found in conventional solutions. The preliminary results show significant improvements in workflow simplicity and execution efficiency. The study highlights ChronoLang's potential to simplify analytical workflows in multiple domains, including climate research, industrial IoT, and finance.*

Keywords: *temporal analytics, streaming integration, forecasting models, modular compiler, domain-specific syntax.*

Introduction

Time-series data is essential across finance, climate research, and IoT due to its sequential nature and high volume. Traditional tools struggle with real-time processing and evolving patterns, limiting their effectiveness for anomaly detection and forecasting [1, 2].

Domain-Specific Languages (DSLs) simplify domain complexity by offering expressive, high-level abstractions designed for specific tasks. Unlike general-purpose languages, DSLs reduce code verbosity and errors while improving readability and development speed. SQL and R are common DSL examples. Effective DSLs balance simplicity with functionality and embed domain logic in concise syntax [3].

ChronoLang is a DSL built for time-series analytics and forecasting. It unifies descriptive queries, predictive modeling, and real-time streaming into a single declarative language. By addressing the complexity and fragmentation of tools like Pandas, SQL, and Spark, ChronoLang aims to simplify workflows, enhance usability, and support intuitive, real-time analytics [4, 5].

Domain Context and Rationale

Time-series data has distinct attributes, temporality, frequency, seasonality, and stationarity, that complicate its analysis. Temporality and granularity affect how data is stored and processed,

while frequency and seasonality shape forecasting models. Stationarity is key to using traditional statistical methods, but real-world data often lacks it, challenging classical tools [6].

Common tools like Pandas, SQL databases, and Apache Spark struggle with time-series data. Pandas is limited by memory and lacks streaming support, making it unsuitable for large or real-time datasets [1]. SQL-based systems, including TimescaleDB and InfluxDB, allow structured queries but require verbose syntax for time operations and lack native forecasting tools [2]. Apache Spark distributes data well but lacks built-in models like ARIMA, Prophet, and LSTM, forcing reliance on complex multi-tool pipelines [4].

Domain-Specific Languages offer a more natural way to express domain logic. DSLs focus on a specific application area, offering concise, readable syntax that reduces errors and boosts productivity, simplifying workflows by encapsulating complex logic in high-level abstractions [3].

ChronoLang is based on these principles. Built for time-series analysis, it offers native constructs for operations like, rolling windows, and forecasting. Its declarative syntax reduces code verbosity and aligns with analysts' needs. ChronoLang simplifies time-series workflows by addressing the key limitations of current tools while maintaining clarity and usability.

Core Principles and Main Features

ChronoLang is explicitly designed as a domain-specific language (DSL) built for time-series analysis, combining descriptive, predictive, and real-time analytics into a single declarative framework. A core design principle of ChronoLang is its declarative syntax, specific for time-series analytics. Its specialized syntax lets users focus on the result, not the steps, reducing complexity and errors common in tools like Pandas or SQL. This clarity improves productivity and lowers the barrier for non-expert users.

ChronoLang also integrates advanced forecasting models such as ARIMA, Prophet, and LSTM directly within its language architecture. This eliminates the need for external scripts or libraries and simplifies predictive workflows. Built-in tuning further streamlines model use. Real-time analytics are natively supported, with seamless integration to MQTT, Kafka, and SQL databases. Analysts can run live forecasts and analyses without middleware, enabling faster results and operational responsiveness. A practical illustration highlighting ChronoLang's simplified syntax and capabilities is shown in Fig. 1. In contrast, equivalent operations in Python involve complex coding, increasing both complexity and potential for error as seen in Fig. 2.

```
1. LOAD sales_data FROM "amazon_sales.csv"  
2. TREND(sales_data.Open) -> forecast_next(7d)
```

Figure 1. Example of ChronoLang syntax for forecasting a linear trend

```
1. import numpy as np  
2. import pandas as pd  
3. df = pd.read_csv("amazon_sales.csv")  
4. column = "Open"  
5. time_interval = 7  
6. x = np.arange(len(df))  
7. y = df[column].values  
8. coef = np.polyfit(x, y, 1)  
9. forecast_value = coef[0] * (len(df) + time_interval) + coef[1]  
10. print(f"Forecasted value after {time_interval} days: {forecast_value}")
```

Figure 2. Equivalent Python script for linear trend forecasting

ChronoLang effectively addresses existing gaps in analytical toolsets by integrating declarative readability, native predictive analytics, and real-time streaming capabilities into a unified framework, Tab 1. By doing so, it substantially reduces analytical complexity, enhances usability, and delivers more efficient, accurate, and timely analytical outcomes, thus meeting the evolving demands of modern time-series analysis across diverse industries.

Table 1

ChronoLang vs. Existing Solutions

Feature	ChronoLang	Pandas	SQL Databases	Apache Spark
Declarative Readability	High	Moderate	Low	Moderate
Built-in Forecasting Support	Yes	No	No	Limited
Real-Time Streaming Native	Yes	No	Limited	Partial
Backend Integration Flexibility	High	High	Moderate	High

Architectural Framework and Development Roadmap

ChronoLang uses a modular architecture for scalable and flexible time-series analytics. It consists of three layers: a frontend (lexer and parser), a backend execution engine, and an integration layer. Each layer is designed for independent development and easy maintenance.

The frontend includes a C++ lexer that identifies time-series expressions and a Python parser that builds an Abstract Syntax Tree (AST). This ensures accurate interpretation of queries involving filtering, aggregation, and forecasting. The backend execution engine processes the AST, performing key analytics like rolling averages and forecasts. It supports both batch and real-time streaming data and has built-in support for ARIMA, Prophet, and LSTM models, eliminating external dependencies. The integration layer connects ChronoLang to various data sources such as CSV files, SQL databases (PostgreSQL, TimescaleDB), and real-time streams (MQTT, Kafka), enabling smooth adoption in diverse environments.

Development follows a phased roadmap: defining the language spec, implementing the lexer and parser, building the execution engine, adding forecasting and streaming, and finally optimizing performance and documenting the system. Each phase builds on the last to ensure a robust and maintainable platform. Overall, ChronoLang's modular architecture and carefully structured development roadmap position it as an adaptable, scalable, and user-friendly tool for real-time time-series analytics and forecasting, suitable for diverse applications ranging from financial forecasting to industrial monitoring.

Future Directions and Implications

ChronoLang is set to advance with the integration of transformer-based forecasting models and hybrid methods that combine statistical and machine learning techniques. These enhancements aim to expand ChronoLang's ability to handle non-linear, high-dimensional time-series data. Planned support for GPU acceleration and edge computing backends will further optimize performance, particularly for resource-intensive applications in real-time environments. Future development also includes building interactive visualization environments that enable users to create, debug, and visualize time-series workflows more intuitively. These environments are expected to enhance accessibility for non-programmers while supporting real-time data manipulation and dynamic forecasting dashboards.

Theoretically, ChronoLang contributes to the evolution of domain-specific languages by demonstrating how high-level abstractions can be effectively applied to complex analytical domains. Its modular architecture and declarative design offer a simple, yet powerful framework for embedding advanced analytics into domain-oriented languages. Moreover, its approach to integrating real-time data streams and predictive models within a unified language marks a significant step in rethinking how analytical tools can be built for dynamic data-driven domains.

Conclusion

ChronoLang addresses critical limitations in traditional time-series analytics tools by offering a dedicated, domain-specific language that unifies querying, forecasting, and real-time streaming within a single, declarative syntax. Its architecture simplifies complex analytical

workflows, reduces the need for multi-tool environments, and provides built-in support for key forecasting models like ARIMA, Prophet, and LSTM.

Theoretically, ChronoLang reinforces the relevance of DSLs in modern analytics by demonstrating how domain abstraction and modular design can improve usability and analytical precision. Its development showcases how focused language design can integrate high-level expressiveness with backend extensibility, supporting diverse data sources and real-time processing.

Practically, ChronoLang enhances productivity, scalability, and accessibility in data-driven tasks. It holds particular promise for applications in finance, industrial monitoring, and scientific research, where time-series data is abundant and analytical responsiveness is essential. As a result, ChronoLang represents a meaningful step forward in analytical tooling, positioning itself as a versatile solution for the evolving demands of time-series analysis.

References

1. SIEBERT, J.; GROSS, J.; SCHROTH, C. A Systematic Review of Python Packages for Time Series Analysis, 2021. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2104.07406>.
2. FANIBAND, Y.P.; ISHAK, I.; SAIT, S.M. A Review of Open Source Software Tools for Time Series Analysis, 2022. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2203.05195>.
3. MERNIK, M.; HEERING, J.; SLOANE, A.M. When and How to Develop Domain-Specific Languages. *ACM Comput. Surv.* 2005, 37 (4), pp. 316–344. <https://doi.org/10.1145/1118890.1118892>.
4. DWIVEDI, S.A.; ATTRY, A.; PAREKH, D.; SINGLA, K. Analysis and Forecasting of Time-Series Data Using S-ARIMA, CNN and LSTM. In *2021 International Conference on Computing, Communication, and Intelligent Systems (ICCCIS)*; IEEE, 2021; pp 131–136. <https://doi.org/10.1109/ICCCIS51004.2021.9397134>.
5. GARG, R.; BARPANDA, S.; S, G.R.S.N.; S, R. Machine Learning Algorithms for Time Series Analysis and Forecasting, 2022. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2211.14387>.
6. FULCHER, B.D.; LITTLE, M.A.; JONES, N.S. Highly Comparative Time-Series Analysis: The Empirical Structure of Time Series and Their Methods. *J. R. Soc. Interface.* 2013, 10 (83), pp. 20130048. <https://doi.org/10.1098/rsif.2013.0048>.

FROM VMWARE TO DOCKER: TRANSITIONING FROM VIRTUALIZATION TO CONTAINERIZATION FOR MODERN APPLICATIONS

Tudor DUCA

*Department of Software and Automation Engineering, group IS-241M, Faculty of Computers, Informatics and
Microelectronics, Technical University of Moldova, Chisinau, Moldova*

*Corresponding author: Duca Tudor, tudor.duca@isa.utm.md

Scientific coordinator: Radu MELNIC , university lector, Technical University of Moldova

Abstract. *Virtualization and containerization are two prominent approaches for optimizing IT infrastructure, each with distinct characteristics. Virtualization, exemplified by VMware, provides complete isolation and compatibility with legacy systems, but it incurs higher resource overhead and slower performance. Containerization, primarily through Docker, offers better resource efficiency, faster startup times, and superior scalability, though it sacrifices some isolation. This study compares the two technologies based on factors such as resource utilization, scalability, performance, and portability, demonstrating that containerization generally offers a more efficient, flexible solution for modern IT environments.*

Keywords: *cloud, concurrency, optimization, performance, transaction*

Introduction

The optimization of IT systems has become a critical requirement in addressing the challenges of modern infrastructure. Virtualization and containerization are two distinct methods for development of IT infrastructures, each with its own strengths and weaknesses.

VMware is a virtualization platform that allows multiple virtual machines (VMs) to run on a single physical host. Each VM runs its own operating system and applications, providing complete isolation from other VMs and the host system, being ideal for running different operating systems and legacy applications that require full OS compatibility [1].

Docker uses containers to package applications and their dependencies into isolated environments that share the host operating system kernel. This results in lightweight, fast-starting containers that are more efficient in terms of resource usage and Docker is particularly useful for microservices architectures and cloud-native applications, as it allows for quick scaling and easy portability across environments [2].

The objectives of this paper are to present the efficiency of containerization compared to virtualization.

Why move from VMware to Docker?

While VMware has long been the standard in virtualization, Docker offers a more efficient and flexible solution, particularly for modern applications. Docker containers are lightweight and start quickly, which can significantly reduce deployment time compared to VMware's virtual machines (VMs). Docker also shares the host operating system kernel, making it more resource-efficient. In contrast, VMware requires a full operating system for each VM, leading to higher overhead in terms of resource consumption. Docker also enables rapid scalability and efficient use of hardware, allowing applications to scale horizontally with minimal resource allocation. This is especially valuable for cloud-native applications that demand agility and fast deployment times [3].

Virtualization vs Containerization: Benefits and Drawbacks

Cloud computing is pictured as the next-generation technology. It is a web-based technology where quality services are provided to users including data and software, on remote servers [4].

Based on the comparative analysis [5] in Tab. 1, Docker outperforms VMware in several key areas. Docker is more resource-efficient, easier to set up, and offers superior portability, scalability, and performance. Its lightweight containers provide near-native performance and faster startup times compared to VMware, which suffers from resource overhead and slower startup due to the need for an entire guest OS

Table 1

Docker vs VMware [5]

Comparative parameter	Docker	VMware
Resource utilization	Shares resources with the host operating system for efficiency	Requires dedicated resources, may lead to poor performance
Setup	Easier to set up and use	Complex installation and hardware-assisted virtualization is required for optimal performance
Portability	High due to standardization of Docker images	Limited as it requires an entire operating system backup and VM images
Scalability	Can easily scale up to handle increased loads	Difficult to scale automatically, may require manual intervention
Performance	Gives near-native performance, as it deploys lightweight containers	Can suffer from performance issues due to VM overhead
Startup	Startup in seconds, providing much faster deployment times	Startup is slow, long delay before guest OS starts boot

Performance analysis

To better understand the specific performance differences of the cloud architecture types we need to perform some tests on the real deploy.

As shown in Fig. 1, Docker demonstrated lower read times in both minimum and average values, indicating superior performance in comparison to the VM. The VM, however, exhibited nearly double the maximum read time, highlighting significantly higher variability in read performance. For write operations, Docker again delivered faster performance for both minimum and average times, while the VM showed a considerably higher maximum write time, suggesting that Docker offers more stable performance, particularly for write-intensive tasks.

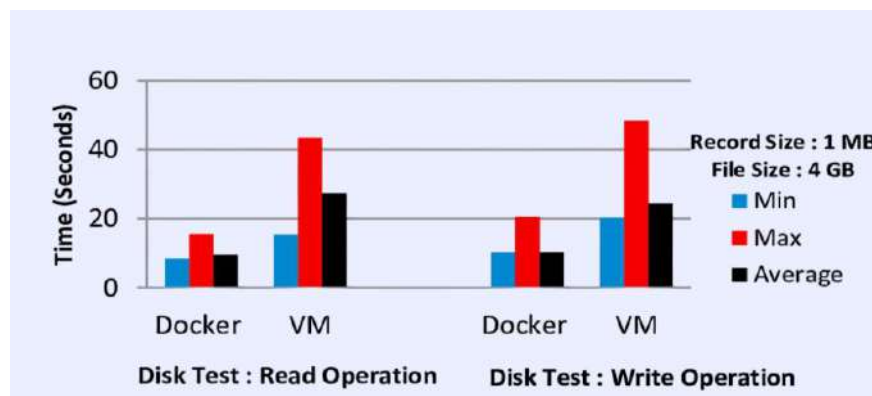


Figure 1. VMware vs Docker read-write analysis

The graph, illustrated in Fig. 2, demonstrates the performance differences between Docker and virtual machines (VMs), such as Xen and KVM, when managing Hackbench tasks

with 1000 messages. As the number of tasks increases from 40 to 640, Docker maintains consistently lower execution times, highlighting its efficiency in handling concurrent processes.

In contrast, VMs show a noticeable rise in execution time as the task count scales, reflecting higher resource overhead. Docker's process isolation and lightweight nature allow it to manage workloads more effectively, avoiding the performance degradation seen in VMs. This makes Docker particularly advantageous for applications requiring high concurrency and minimal overhead in performance-sensitive environments.

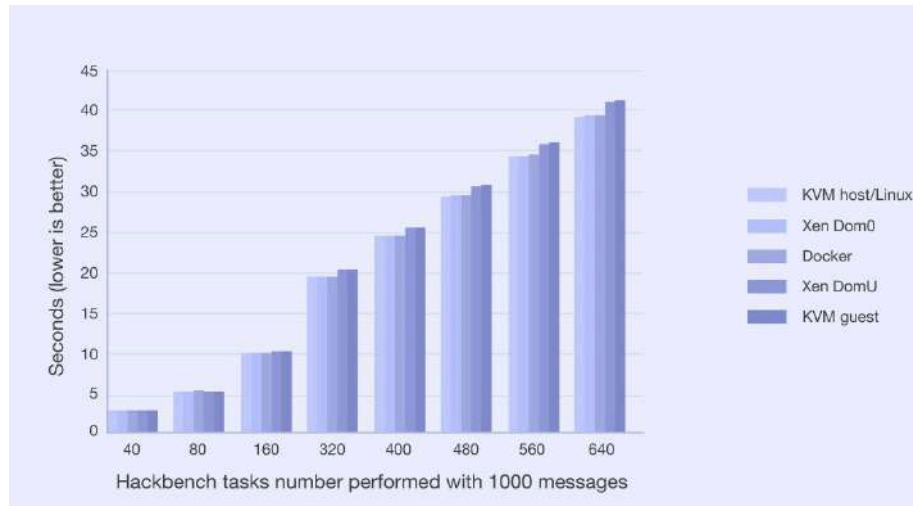


Figure 2. Concurrency performance analysis

Similarly, the read and write operations for mixed workloads for VMs vs. containers also show that containers can process more transactions per second, as shown in Fig. 3. demonstrate that Docker containers achieve significantly higher performance in terms of transactions per second (tps) compared to VMware virtual machines. Docker handles over 1.9 million tps, while VMware VMs manage around 1.3 million tps. This performance gap highlights the superior capability of Docker containers in processing concurrent workloads more efficiently than virtual machines. As shown in Fig. 3, Docker's lightweight architecture and optimized resource usage contribute to its ability to handle a larger volume of transactions per second.

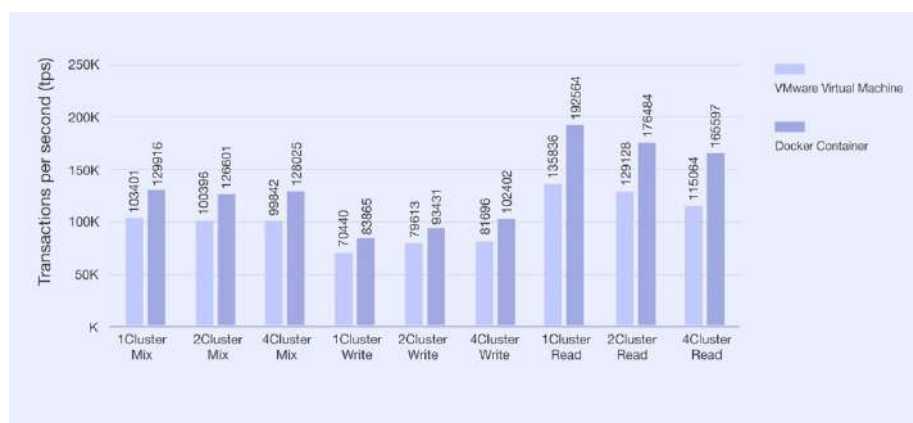


Figure 3. Transactions per second analysis

Conclusions

Containerization, particularly through technologies like Docker, demonstrates clear advantages over virtualization in optimizing IT infrastructure. It offers superior resource efficiency, faster startup times, and better scalability, making it an ideal solution for modern, dynamic environments. Unlike virtualization, which incurs significant overhead and slower

performance due to the need for full system isolation, containerization enables lightweight, consistent environments that can be rapidly deployed and easily scaled. Additionally, containerization ensures portability across different platforms, streamlining the development-to-production pipeline. Overall, containerization provides enhanced performance, flexibility, and cost-effectiveness, making it the preferred choice for applications requiring agility and resource optimization.

References

1. “VMware vSphere Documentation” [Online]. Available: <https://docs.vmware.com/>
2. TURNBULL, J. The Docker Book [Online]. Available: <https://github.com/AngelSanchezT/books-1/blob/master/docker/the-docker-book.pdf>.
3. “What's the difference between Docker and a VM?” [Online]. Available: <https://aws.amazon.com/compare/the-difference-between-docker-vm/>
4. MALIK, M.; WANI, S.; RASHID, A. “Cloud Computing-Technologies” [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/324863629_CLOUD_COMPUTING-TECHNOLOGIES
5. “Docker vs VMware: A Comparative Analysis” [Online]. Available: <https://systemdesignschool.io/blog/docker-vs-vmware>

VIDLANG – A VIDEO EDITING SCRIPTING SOLUTION

Andrei CHICU, Gabriel MIRICINSCHI, Alexandru CEBOTARI,
Mihai CARAMAN*, Andi BLINDU

Department of Software Engineering and Automation, FAF-233, Faculty of Computers, Informatics and
Microelectronics, Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova

*Corresponding author: Mihai CARAMAN, mihai.caraman@isa.utm.md

Tutor/coordinator: Cristofor FISTIC, univ. asist.

Abstract: This work presents VidLang, a new domain-specific language that makes frequent video editing operations more straightforward via an expressive, concise, pipeline-based syntax. Contrary to existing solutions, VidLang introduces a context-sensitive lexer and three-token look-ahead parser—implemented in Go—that together ensure unambiguous processing of constructs such as mutable stream references and global pipeline state. Our design involved a thorough analysis of current video processing pipelines, a formal EBNF-based grammar definition, and iterative prototyping with performance monitoring. Experimental results indicate that VidLang scripts reduce commands by over 40% compared to similar FFmpeg pipelines, and up to a 30% reduction in execution time for common editing tasks. Such optimizations stem from VidLang's ability to suppress unnecessary parameter specification and pipeline scheduling optimization. The advances in the language's core are a lightweight set of trimming, merging, filtering, and subtitle insert commands; a simple-to-use syntax with which to hurdle the programming barrier; and an extensible architecture upon which to base future acceleration with GPUs. We conclude that VidLang is an unusually well-balanced mix of simplicity, performance, and extensibility and therefore a precious resource for content creators, researchers, and teachers who need to have efficient, script-based video processing available to them.

Keywords: video processing, domain-specific language, pipeline syntax, lexer/parser design, workflow automation.

Introduction

Video projects now range from TikTok clips to cinematic essays, yet creators still mostly employ gargantuan GUIs for the most basic of tasks while the alternatives are arcane FFmpeg scripts. In the research that is to follow, we find that the current video editing software landscape lacks a tool that provides a declarative, reproducible, template-capable, accessible, and fast-to-work-with workflow, akin to what LATEX is for PDF documents.

We present VidLang: a pipeline-oriented DSL that is capable of trims, filters, captions, etc., with only a handful of lines. Because its grammar is anchored in the rigor of formal languages and finite automata[1, 2], every script can be parsed deterministically, optimized for real-time preview, and version-controlled like source code. The payoff is a workflow that feels as quick as shell scripting but keeps the predictable performance crucial for on-the-fly rendering.

Domain Analysis

Two ways predominate in video processing: graphical and through command-line workflows. The former presents the problem of screen clutter, caused by the numerous drop-down menus, which can be overwhelming for casual users[3]. On the other hand, command-line tools require users to interact with low-level commands, which, again, may lead to confusion among beginners.

Table 1

Video Editing Software Market Share

Software	Market Share
Adobe Premiere Pro	35%
Final Cut Pro X	25%
DaVinci Resolve	15%
Avid Media Composer	10%
Filmora	5%
CapCut	4%
iMovie	3%
Vegas Pro	3%

The table above Tab. 1 shows the market share of video editing software as of the time of writing, with Adobe Premiere, Final Cut Pro X, and DaVinci Resolve having a combined 75% market share[4]. While these offer advanced capabilities, the fact that they are paid and present the problems above renders them inaccessible to beginners. Even freemium options like DaVinci, Filmora, and CapCut, while targeting novice users and enthusiasts, similarly suffer from UI clutter.

Video Language[5] is a DSL that aims to offer a declarative syntax. It was built on Racket and promotes a Lisp-like style of video editing. Unfortunately, it suffers from critical drawbacks: a lack of real-time previews, unfamiliar Lisp syntax, and a niche technology stack. These facts pushed us towards implementing the live preview feature.

EBNF Grammar

The structure of VidLang DSL is formally defined using Extended Backus-Naur Form:

```

program      ::= { statement NEWLINE } ;
statement    ::= assignment_stmt | pipeline_expr ;
assignment_stmt ::= id_list (":=" | "=") (pipeline_expr | value);
pipeline_expr ::= stream_source {[NEWLINE] ">" command_call};
stream_source ::= identifier | list_of_streams ;
list_of_streams ::= "[" identifier { "," identifier } "]" ;
command_call ::= COMMAND_NAME [ argument_list ] ;
argument_list ::= value { value } ;
value        ::= simple_value | math_expr | list_literal;
simple_value  ::= identifier | literal ;
list_literal ::= "[" simple_value { "," simple_value } "]" ;
math_expr   ::= "(" term { ("+" | "-") term } ")" ;
term        ::= factor { ("*" | "/" ) factor } ;
factor      ::= NUMBER | identifier | "(" math_expr ")" ;
literal     ::= STRING | NUMBER | BOOLEAN ;
id_list     ::= identifier { "," identifier } ;
identifier  ::= IDENTIFIER

```

Lexical structures are:

- **IDENTIFIER:** a sequence of letters and digits starting with a letter.
- **STRING:** a sequence of characters enclosed in double-quotes.
- **NUMBER:** any decimal or integer numeric value (e.g., 42, 3.14).
- **BOOLEAN:** the literals true or false.
- **COMMAND_NAME:** reserved keywords representing video/audio operations.
- **NEWLINE:** line break character (\n) used to separate statements and pipeline steps.

Syntactic structures are:

- **Program:** a sequence of statements, each ending with a newline.
- **Statement:** either an assignment or a pipeline expression.
- **Assignment:** binds a pipeline or value to one or more identifiers
- **Pipeline Expression:** a dataflow-like chain of commands using “|>”.
- **Stream Source:** either a single identifier or a list of identifiers.
- **List of Streams:** a bracketed, comma-separated list of identifiers.
- **Command Call:** a command name followed by optional arguments.
- **Value:** any evaluable element—can be a simple value, math expression, or list.
- **Simple Value:** an identifier or a literal value (string, number, boolean).
- **List Literal:** an ordered collection of simple values.
- **Math Expression:** an arithmetic expression supporting “+”, “-”, “*”, and “/”.
- **Literal:** a basic constant value—string, number, or boolean.
- **Identifier List:** one or more identifiers, comma-separated.

DSL Implementation

The DSL is implemented with GO as the host language, having the following concurrent parts: lexer, parser, and interpreter. These communicate with channels and allow for a concurrent style of parsing and evaluation, as shown by Fig. 1. The reason for this is that we want a real-time previewer, similar to what LaTeX environments provide. As for the lexer and parser, they are implemented as state machines, taking inspiration from Rob Pike’s talk on lexers[6] and his original implementation of the text/template package[7]. The parser itself is a standard top-down recursive LL(3) parser, with 2 items of look-ahead.

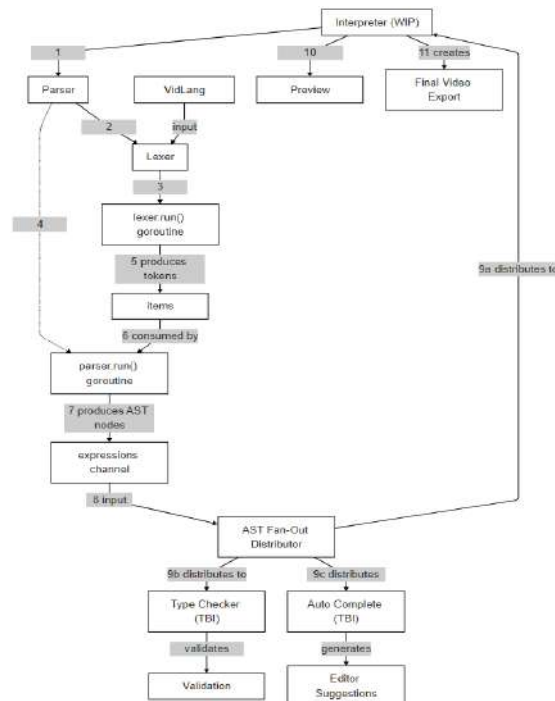


Figure 1. DSL Activity Diagram

The interpreter evaluates expressions by receiving AST chunks concurrently and iterating command pipelines, where each command is dispatched through a central handler map. Commands process input streams and arguments, returning both result streams and metadata about whether transcoding can be avoided. The command system includes media manipulation functions like contrast and brightness, etc., plus an export command that leverages ffmpeg[8] to

simultaneously output both files and stream via UDP, enabling direct streaming from the DSL without external tools. Error handling is integrated throughout the evaluation process with contextual information about what went wrong and where. We found FFplay to perform the best for previewing.

Parsing Tree

Here is an example of how a simple expression is parsed:

audioTrack = audioTrack |> volume 1.5

This is a simple pipeline with just one command: volume. It creates a new stream with the volume filter applied, increasing it by 50%.

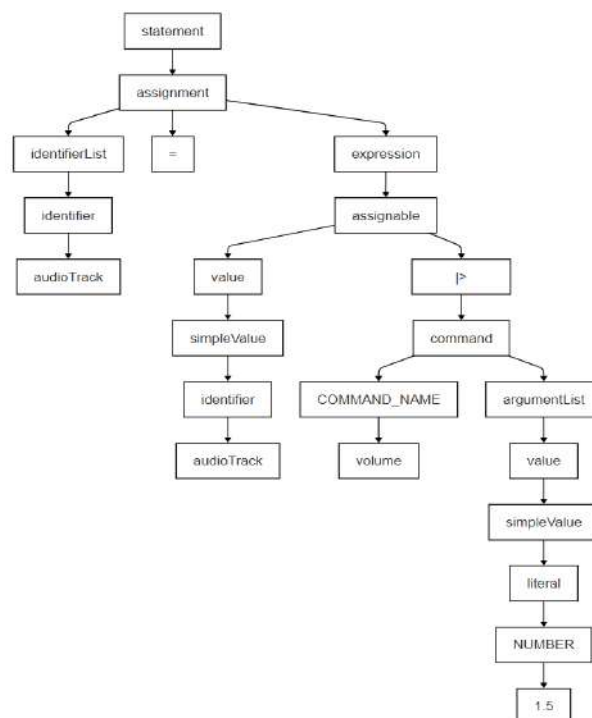


Figure 2. Example Parse Tree

In Fig. 2, it is shown how the expression is parsed, using Pascal Case for the non-terminals.

Example and Results

In the following, we demonstrate a small VidLang script and show the equivalent FFmpeg compiled command. This VidLang script increases brightness and contrast by 20%:

```

vidfile := "./server/video.mp4"
outfile := "output.mp4"
track := open vidfile
track2 := track |> contrast 1.2 |> brightness +0.2
export track2 "marcelo.mp4"
  
```

Produced FFmpeg command line by the interpreter:

```
ffmpeg -i ./server/video.mp4 -filter_complex  
[0]eq=contrast=1.2[s0];[s0]eq=brightness=+1.2[s1];[s1]split=1[s2];[s2]split=2[s3][s4] -map [s3]  
marcelo.mp4 -map [s4] -f mpegts -preset ultrahigh -tune zerolatency udp://127.0.0.1:1234
```

The resulting command demonstrates the aforementioned interpretation features, such as stream splitting and UDP streaming. Comparing the two, the command line has above 10 special keywords while our script uses only 6 special keywords (open, contrast, brightness, export, and operators) resulting in a reduction of over 40%. Measured performance is significantly faster than that of alternative tools like DaVinci Resolve on the same machine with Intel i7 10th gen and 16Gb of RAM. For a video of 40 seconds, DaVinci spent 72 seconds rendering, and CapCut spent around 48, while our script took only 15 seconds (this includes the UDP stream as well). This is well over 3 times as fast. Other examples had demonstrated less prominent results, and overall, our ffmpeg-backed DSL proved up to 30% faster across more complex trials.

Conclusions

In summary, VidLang offers a new approach to video editing leveraging a pipeline-based syntax. We demonstrate how VidLang can simplify complex workflows, making video processing more accessible for users of all skill levels. The preliminary performance gains and reduced script complexity highlight its potential to improve both productivity and maintainability in multimedia projects. By leveraging a concurrent architecture and Ffmpeg as an engine, VidLang supports real-time previewing and responsive editing, a win for creative workflows. Looking ahead, expanding the command set and integrating with tools and IDEs will make VidLang a promising tool for the future of automated, scriptable media production.

Bibliography:

1. COJUHARI, I.; DUCA, L.; FIODOROV, I. Formal Languages and Finite Automata. Guide for practical Lessons. Chişinău: Editura Tehnica-UTM, 2022, 120 p. ISBN 978-9975-45-852-8
2. DUCA, L.; COJUHARI, I.; CIORBĂ, D.; COJOCARU, S. Limbaje formale şi automate finite. Ghid pentru lecţiile practice. Chişinău: Editura Tehnica-UTM, 2024, 128 pp. ISBN 978-9975-64-381-8.
3. WEDA, Hans and CAMPANELLA, Marco, 2007. Use Study on a Home Video Editing System. In: *Proceedings of HCI 2007 The 21st British HCI Group Annual Conference University of Lancaster, UK..* Online. 2007. DOI 10.14236/ewic/HCI2007.77. [Accessed 12 March 2025].
4. CH, David, 2024. Video Editing Software Market Statistics (2025). Online. 31 August 2024. Available from: <https://sendshort.ai/statistics/video-editing-software/> [Accessed 20 March 2025].
5. The Video Language Guide (v0.2.1), [no date]. . Online. Available from: <https://docs.racket-lang.org/video@video/index.html> [Accessed 17 February 2025].
6. GOOGLEFOSSSYDNEY, 2011. Lexical Scanning in Go - Rob Pike. Online. 30 August 2011. Available from: https://www.youtube.com/watch?v=HxaD_trXwRE [Accessed 28 March 2025]. Creative Commons Attribution license (reuse allowed).
7. parse package - text/template/parse - Go Packages, [no date]. . Online. Available from: <https://pkg.go.dev/text/template/parse> [Accessed 16 March 2025]
8. Documentation, [no date]. Online. Available from: <https://www.ffmpeg.org/documentation.html> [Accessed 17 February 2025].

AVANTAJE ȘI DEZAVANTAJE ALE ARHITECTURILOR CQRS ȘI EVENT SOURCING COMPARATIV CU MODELUL CRUD

Ion BORTĂ

Departamentul Ingineria Software și Automatică, grupa TI-241M, Facultatea Calculatoare, Informatică și
Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

Autorul corespondent: Ion Bortă, ion.borta@isa.utm.md

Rezumat. Această lucrare analizează comparativ arhitectura tradițională de tip CRUD și cele moderne bazate pe CQRS (Command Query Responsibility Segregation) și Event Sourcing, cu scopul de a identifica avantajele, dezavantajele și scenariile potrivite de utilizare pentru fiecare abordare. Studiul a fost realizat pe baza unei evaluări teoretice, folosind criterii precum complexitatea sistemului, scalabilitatea, consistența datelor, performanța, posibilitatea de audit și efortul de dezvoltare. Rezultatele evidențiază că arhitectura CRUD este potrivită pentru aplicații simple și medii, oferind implementare rapidă și actualizare imediată a datelor, dar cu posibilități reduse de ajustare și analiză istorică a datelor. În schimb, CQRS combinat cu Event Sourcing permite o scalare eficientă a operațiilor de citire și scriere, păstrează toate modificările efectuate asupra stării sistemului și facilitează reconstruirea acestuia la orice moment în timp. Totuși, aceste beneficii vin cu un cost mai mare de complexitate și întreținere. Lucrarea scoate în evidență diferențele cheie dintre cele două abordări, organizate într-un tabel comparativ. Concluzia principală este că alegerea arhitecturii trebuie să fie ghidată de nevoile reale ale sistemului, nu de tendințe tehnologice.

Cuvinte cheie: scalabilitate, consistența datelor, audit, complexitatea sistemului, performanță

Introducere

Evoluția dezvoltării de software a fost mereu determinată de nevoia de a crea sisteme mai scalabile, mai ușor de întreținut și mai receptiv la cerințele de afaceri în schimbare. Unul dintre aspectele fundamentale care influențează aceste calități este alegerea arhitecturii sistemului. Una dintre cele mai durabile abordări arhitecturale este modelul CRUD (Create, Read, Update, Delete), care oferă un mecanism simplu pentru interacțiunea cu o bază de date. Implementarea sa simplă a contribuit la adoptarea sa pe scară largă într-o varietate de sisteme, în special în cele cu reguli de afaceri relativ simple.

Cu toate acestea, pe măsură ce sistemele cresc în complexitate și nevoia de scalabilitate, receptivitate și toleranță la erori crește, arhitecturile CRUD tradiționale prezintă deseori limitări obișnuite. Gestionarea accesului concurent, asigurarea consistenței datelor în medii distribuite și adaptarea la modelele de afaceri în evoluție pot deveni semnificativ dificile în cadrul unei abordări bazate exclusiv pe CRUD.

CQRS introduce o separare clară între operațiunile care modifică datele (comenzi) și cele care recuperează datele (interogări), permițând modele optimizate pentru fiecare problemă. Event Sourcing, pe de altă parte, mută accentul de la stocarea stării curente a unei entități la salvarea unei secvențe cronologice de evenimente care descriu toate modificările aduse stării sistemului.

Acest articol are ca scop investigarea și compararea principalelor paradigme arhitecturale. Prin analiza punctelor forte și a limitărilor fiecărei abordări, se urmărește oferirea unei perspective cuprinzătoare asupra momentelor și motivelor pentru care dezvoltatorii pot opta pentru CQRS și Event Sourcing în favoarea arhitecturii CRUD tradiționale sau invers.

Noțiuni teoretice

CRUD, prescurtat de la Create (Creare), Read (Citire), Update (Actualizare) și Delete (Ștergere), este un model de proiectare fundamental care mapează operațiile de bază ale unei aplicații la baza de date utilizată [1]. Fiecare entitate din sistem corespunde, de obicei, unui tabel, iar fiecare operație modifică în mod direct starea curentă a datelor. Această abordare oferă simplitate și un ciclu rapid de dezvoltare, fiind potrivită pentru sisteme cu logică de afaceri simplă și cerințe reduse de concurență. O reprezentare vizuală a acestui model este prezentată în Fig. 1.



Figura 1. Operațiile CRUD

Command Query Responsibility Segregation (CQRS) este un model arhitectural care separă operațiile responsabile de modificarea datelor (comenzi) de cele responsabile de citirea acestora (**interogări**) (vezi Fig. 2). Această separare permite scalarea independentă a modelelor de citire și de scriere, optimizarea accesului la date în funcție de tipul operației și o delimitare mai clară a comportamentelor sistemului [2].

Prin decuplarea citirilor de scrieri, CQRS permite sistemelor să gestioneze o logică de domeniu mai complexă și să adopte mecanisme diferite de stocare pentru comenzi și interogări. Cu toate acestea, modelul introduce o complexitate suplimentară, necesitând deseori sincronizare atentă între modele și mecanisme sofisticate de gestionare a evenimentelor, în special în medii distribuite.

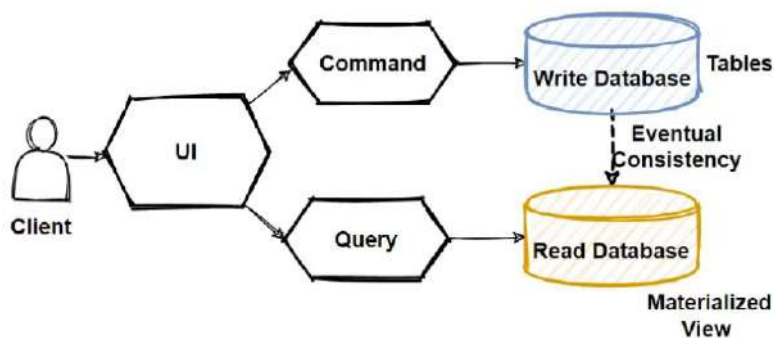


Figura 2. Modelul CQRS

Event Sourcing, prescurtat ES, este un model de proiectare în care schimbările aduse stării aplicației sunt persistate sub forma unei secvențe de evenimente, în loc de suprascrierea stării curente (vezi Fig. 3). Fiecare eveniment reprezintă un fapt care a avut loc, iar starea curentă a sistemului poate fi reconstruită prin reluarea (replaying) acestor evenimente [3].

Event Sourcing este integrat cu CQRS, în special în scenarii în care auditul istoric, interogările temporale și reluarea stării sunt importante. Acesta facilitează o istorie completă a modificărilor, oferind perspective valoroase asupra comportamentului sistemului în timp. Totuși, Event Sourcing implică propriile provocări, inclusiv versionarea evenimentelor, cerințe sporite de stocare și necesitatea gestionării consistenței eventuale.

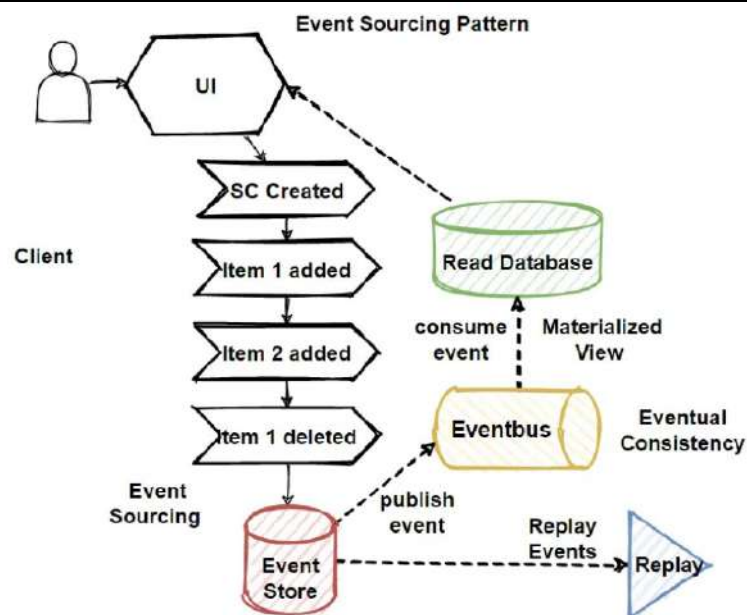


Figura 3. Modelul Event Sourcing

Analiza comparativă pe criterii

1. Complexitatea sistemului

CRUD este simplu, iar maparea directă dintre operațiuni și acțiunile bazei de date îl face ușor de înțeles, implementat și întreținut, în special pentru aplicațiile mici și mijlocii. Modelul permite implementarea rapidă a cerințelor de afaceri, cu un efort redus de proiectare arhitecturală.

CQRS și Event Sourcing introduc o complexitate semnificativă. Dezvoltatorii trebuie să gestioneze modele separate pentru comenzi și interogări, să gestioneze procesele asincrone și să facă față provocărilor precum consistența eventuală, ordonarea mesajelor și versionarea evenimentelor. Mai mult, înțelegerea și depanarea unor astfel de sisteme necesită cunoștințe arhitecturale mai aprofundate [4].

2. Scalabilitatea

Scalarea aplicațiilor CRUD poate fi dificilă, mai ales atunci când atât citirile, cât și scrierile concurează pentru aceleași resurse ale bazei de date. Bazele de date monolitice tradiționale devin adesea blocaje, necesitând soluții complexe, cum ar fi fragmentarea sau replicarea bazelor de date.

CQRS susține în mod natural scalabilitatea permițând scalarea independentă a laturilor de citire și scriere. Event Sourcing îmbunătățește și mai mult scalabilitatea prin activarea arhitecturilor bazate pe evenimente și a proceselor de decuplare. Sistemele pot scala cu ușurință modelele de citire pe orizontală pentru a acomoda interogări cu volum mare fără a afecta performanța de scriere [5,6,7].

3. Consistența și integritatea datelor

Sistemele CRUD se bazează de obicei pe garanții tranzacționale puternice (proprietăți ACID) furnizate de bazele de date relaționale. Consistența datelor este imediată și impusă de baza de date, ceea ce simplifică raționamentul despre starea sistemului.

CQRS adoptă adesea consecvența eventuală, în special în configurațiile distribuite. Comenzile se pot finaliza înainte ca rezultatele lor să fie reflectate în modelul de interogare. Event Sourcing înregistrează evenimente imutabile, asigurându-se că nu se pierd date, dar menținerea modelelor de citire actualizate introduce probleme suplimentare de sincronizare [5,6].

4. Performanța. Sistemele CRUD funcționează adecvat sub sarcini moderate. Cu toate acestea, pe măsură ce cererea crește, concurența în baza de date poate cauza degradarea performanței, în special pentru sistemele cu citire intensă.

Prin separarea responsabilităților de citire și scriere, CQRS îmbunătățește performanța prin optimizarea independentă a fiecărei părți. Modelele de citire pot fi reglate special pentru interogări rapide, în timp ce modelele de scriere se concentrează pe validarea și procesarea domeniului. Event Sourcing permite adăugarea eficientă a evenimentelor, mai degrabă decât actualizări complexe de stare [6,7].

5. Auditul și analiza istorică

Sistemele CRUD suprascriu de obicei datele în timpul actualizărilor, pierzând contextul istoric, cu excepția cazului în care sunt concepute explicit pentru a arhiva modificările (de exemplu, utilizând tabele de audit sau declanșatoare). Implementarea unei analize istorice complete necesită eforturi și instrumente suplimentare.

În Event Sourcing, întreaga istorie a tuturor modificărilor este păstrată sub forma unei secvențe de evenimente. Acest lucru oferă un istoric de audit natural și permite reconstruirea stării sistemului în orice moment din trecut, susținând astfel scenarii precum analiza forensică, revenirea la o stare anterioară sau conformitatea cu cerințele de audit. Analiza forensică se referă la procesul de colectare, examinare și interpretare a datelor digitale pentru a înțelege ce s-a întâmplat într-un sistem informatic, în special în cazul unor incidente de securitate, erori critice sau comportamente neașteptate [7].

6. Efortul de dezvoltare

Sistemele CRUD au costuri de dezvoltare și operare mai mici. Instrumentele și framework-urile familiare permit dezvoltarea rapidă, depanarea este simplă, iar monitorizarea este relativ simplă.

Implementarea și operarea unui sistem CQRS și Event Sourcing solicită mai mult din partea echipelor de dezvoltare și DevOps. Planificarea atentă a schemelor de evenimente, a brokerilor de mesaje, a garanțiilor de consistență și a infrastructurii de monitorizare este necesară pentru a asigura fiabilitatea.

După o analiză mai detaliată pe criterii, Tabelul 1 prezintă principalele diferențe dintre arhitectura tradițională CRUD și arhitectura CQRS + Event Sourcing.

Tabelul 1

Criteriu	Modelul CRUD	Arhitectura CQRS + Event Sourcing
Complexitatea sistemului	Simplu de proiectat, implementat și întreținut.	Complexitate ridicată, necesită expertiză și proiectare atentă.
Scalabilitate	Scalabilitate limitată, dificil de separat operațiile de citire și scriere.	Scalabilitate ridicată, citirile și scrierile pot fi scalate independent.
Consistența datelor	Consistență puternică prin tranzacții ACID.	Consistență eventuală, consistența puternică este posibilă, dar mai dificil de obținut.
Performanță	Adecvată pentru sarcini moderate, blocaje la acces concurrent intens.	Performanță optimizată prin separarea citirilor de scrieri, mai bună sub sarcină mare.
Audit și analiză istorică	Limitată, necesită mecanisme suplimentare (ex: tabele de audit).	Urmărire completă a istoricului prin evenimente salvate, audit și recuperare integrate.
Efort de dezvoltare și operare	Efort redus de dezvoltare și operare; lansare rapidă pe piață.	Efort ridicat pentru dezvoltare, monitorizare și mentenanță.

Recomandări

Analiza comparativă arată că nu există o arhitectură „mai bună” în mod absolut între CRUD și CQRS combinat cu Event Sourcing. Alegerea optimă depinde în principal de contextul aplicației, scalabilitate, și cerințele specifice ale sistemului.

Arhitectura tradițională CRUD este o alegere potrivită pentru [8]:

- aplicații simple sau cu complexitate medie, unde logica de business nu este complicată.
- echipe mici sau startup-uri care au nevoie de dezvoltare rapidă și time-to-market scurt.
- sisteme care necesită consistență puternică a datelor și au un volum de citiri și scrieri echilibrat.
- proiecte în care dezvoltatorii au experiență limitată cu sisteme distribuite sau arhitecturi complexe.

Exemple de aplicații unde CRUD este potrivit:

- panouri de administrare interne (admin dashboards)
- sisteme de gestiune a utilizatorilor (user management systems)
- aplicații crud standard: gestionarea produselor, comenzilor sau clienților
- sisteme de programări (booking systems)
- platforme de învățare simplificate (lms fără istoric detaliat)
- aplicații de tip to-do list sau notes

Arhitectura CQRS + Event Sourcing se potrivește în special în cazul [9-11]:

- aplicațiilor de mari dimensiuni și cu logică de business complexă, unde citirile și scrierile sunt frecvente și masive.
- sistemelor care necesită scalabilitate separată pentru operațiile de citire și scriere.
- domeniilor în care este nevoie de audit, urmărirea istoricului sau reconstrucția stării (de ex., obligații legale sau analiză istorică).
- aplicațiilor de tip event-driven sau microservicii, unde decuplarea și procesarea asincronă sunt esențiale.
- situațiilor în care este necesară analiza retroactivă a modificărilor de stare sau reconstituirea contextului istoric.

Exemple de aplicații potrivite pentru CQRS + Event Sourcing:

- sisteme financiare sau bancare (ex: evidența tranzacțiilor, istoric de cont)
- aplicații e-commerce mari (ex: amazon, emag) cu volum ridicat de comenzi și produse
- platforme de livrare (ex: glovo, uber eats) unde fiecare comandă și actualizare de stare este un eveniment
- sisteme medicale (emr – electronic medical records) cu istoric detaliat al fiecărui pacient
- platforme de social media (ex: stocarea istorică a postărilor, comentariilor, modificărilor)
- aplicații pentru jocuri multiplayer online (mmorpgs) – unde acțiunile jucătorilor sunt evenimente în timp

Concluzii

Studiul a evidențiat că arhitectura CRUD oferă simplitate, dezvoltare rapidă și este potrivită pentru aplicații cu cerințe moderate, fiind preferată de echipe mici și în fazele inițiale ale proiectelor. Pe de altă parte, arhitectura CQRS combinată cu Event Sourcing excelează în sisteme complexe, distribuite sau cu cerințe stricte de audit, oferind scalabilitate și o mai bună separare a responsabilităților între scriere și citire.

În același timp, s-a constatat că introducerea CQRS și Event Sourcing presupune o pregătire tehnică aprofundată și un efort de implementare și mentenanță mai ridicat.

Recomandarea generală este ca alegerea arhitecturii să fie ghidată de nevoile reale ale aplicației, resursele disponibile și nivelul echipei de dezvoltare. În practică, o soluție hibridă poate reprezenta un compromis echilibrat, în care se utilizează CRUD în modulele simple și CQRS cu Event Sourcing în cele critice sau complexe.

Referințe

1. “CRUD Operations Explained – Geek Culture,” Medium. Accessed: May 14, 2025. [Online]. Available: <https://medium.com/geekculture/crud-operations-explained-2a44096e9c88>
2. “CQRS Design Pattern in Microservices Architectures,” Design Microservices Architecture with Patterns. Accessed: May 14, 2025. [Online]. Available: <https://medium.com/design-microservices-architecture-with-patterns/cQRS-design-pattern-in-microservices-architectures-5d41e359768c>
3. “Event Sourcing Pattern in Microservices Architectures,” Design Microservices Architecture with Patterns. Accessed: May 14, 2025. [Online]. Available: <https://medium.com/design-microservices-architecture-with-patterns/event-sourcing-pattern-in-microservices-architectures-e72bf0fc9274>
4. “CQRS vs CRUD: What's the Difference?,” Spiceworks. Accessed: May 14, 2025. [Online]. Available: <https://www.spiceworks.com/tech/data-management/articles/cQRS-vs-crud/>
5. ELSAYYAD, A. “CQRS vs CRUD: Choosing the Right Pattern for Your Application,” Medium. Accessed: May 14, 2025. [Online]. Available: <https://medium.com/@AmrElsayyad/cQRS-vs-crud-choosing-the-right-pattern-for-your-application-0d614167d12b>
6. “Differences Between CQRS and CRUD – System Design,” GeeksforGeeks. Accessed: May 14, 2025. [Online]. Available: <https://www.geeksforgeeks.org/differences-between-cQRS-and-crud-system-design/>
7. SOBRADO, D. “CRUD vs CQRS,” danielsobrado.com. Accessed: May 14, 2025. [Online]. Available: <https://www.danielsobrado.com/blog/crud-cQRS/>
8. “Differences Between CQRS, MediatR, and CRUD,” C# Corner. Accessed: May 14, 2025. [Online]. Available: <https://www.c-sharpcorner.com/article/differences-between-cQRS-mediatr-and-crud/>
9. FOWLER, M. “CQRS,” martinowler.com. Accessed: May 14, 2025. [Online]. Available: <https://martinfowler.com/bliki/CQRS.html>
10. [10] “CQRS Pattern,” Microsoft Learn – Azure Architecture Center. Accessed: May 14, 2025. [Online]. Available: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/architecture/patterns/cQRS>
11. “Event Sourcing Pattern,” Microsoft Learn – Azure Architecture Center. Accessed: May 14, 2025. [Online]. Available: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/architecture/patterns/event-sourcing>

EVOLUTION OF PROGRAMMING

Rustem CIMENDUR, Andrei ELCISCEV, Mihail PANCENCO¹

¹Department of Software Engineering and Automation, group FAF-243, Faculty of Computers, Informatics and Microelectronics, Technical University of Moldova, Chisinau, Moldova

*Corresponding author: Mihail PANCENCO, andrei.elciscev@isa.utm.md

Abstract. *Programming languages have changed a lot over time to make it easier for people to tell computers what to do. This paper looks at how we moved from using punch cards to write code to today's advanced systems that use artificial intelligence, like ChatGPT. It talks about the journey from older languages like FORTRAN and COBOL to modern ones, and how some programming styles, like functional programming, have made a comeback with languages such as Haskell and Scala to keep up with new technology. It also talks about popular coding languages today, that would be Python and Rust, which are designed to be user-friendly but still pretty strong. Good coding needs clear plans and rules to make sure everything runs smoothly. In the end, the study says that coding is a mix of art and science, with AI lending a hand but not replacing the creative touch that people have when tackling tech problems today.*

Keywords: *ai tools, functional programming, natural language coding, structured programming, type systems.*

Introduction

Programming languages represent a vital connection between human logic and computational processes, having evolved noticeably since the 1950s to address the demands of advancing technology and a variety of applications. This paper examines the historical and ongoing transformation of programming languages, tracking their progression from labor-intensive punch card systems to today's AI-assisted environments. It is fair to notice that languages such as FORTRAN and COBOL were designed to structure code for a better readability, followed by C and Java, which introduced object-oriented programming (OOP) to improve modularity. The appearance of artificial intelligence, also through tools like ChatGPT and others, has redefined programming by enabling code generation based on natural language and supporting educational purposes. This study investigates these shifts, pointing the influence of AI, the evolution of language design, and the cyclical nature of programming paradigms. By analyzing historical stages alongside current innovations, such as the simplicity of Python and the memory safety of Rust, we aim to show how programming languages adapt to balance usability with the capability to address complex challenges and thus providing insights into their future perspective.

AI influence of the programming

Programming languages have seen drastic transformations since their invention. The very first programming was done using punch cards, under which binary data was programmed manually, a tedious and error-susceptible process (Lakshmana Gowda, 2025)[1]. As technology progressed, programming languages were developed to be structured such that code was arranged well and was easy to read and thereby reduced the mental workload on programmers. Ongoing advancements introduced natural programming languages, which were designed to be closer to human language patterns, and the cognitive effort required to express computational ideas was lessened (Chowdhary, 2020) [2]. FORTRAN and COBOL, used in early times, played a key role during the 1950s and 1960s, providing a structured approach, and later languages like C and Java introduced object-oriented programming, which encouraged code reusability and

ease of maintenance. The new direction is towards more natural languages, such as Python, where the syntax is even more user friendly, which allowed to set the foundation for developing complex AI systems.

Studies indicate that LLMs are good at handling common algorithmic problems effortlessly, typically coming up with right and optimal solutions. To illustrate this, Jain et al. (2025) [3] conducted a comparison regarding the evolution of ChatGPT for programming needs and found that the earlier versions had problems handling more difficulties, while later version ChatGPT-4 was able to handle 80% of common problems compared to 60% for ChatGPT-3.5. However, their performance decreases on more advanced tasks requiring deeper knowledge or out of the box problem-solving, indicating a present weakness. Moreover, the quality of code generated by AI in big part depends on proficient prompt engineering, which means human skills are still required in the present.

Another major impact is the reduced significance of choosing a specific programming language. LLMs can generate accurate solutions in various languages, hence becoming efficient tools for human programmer augmentation rather than replacement (Jain et al., 2025). This allows AI to become proficient in doing routine tasks like code completion, bug detection, and test case generation, that allows developers focusing on more creative aspects of programming.

Speaking of educational perspective, AI-based tools offer problem-solving and conversation at a personal level, which is particularly favorable for students. Such tools also offer feedback and assistance immediately, which makes learning programming more interactive and easier for larger numbers of people. AI tools are being incorporated into teaching by programming instructors. According to Jh (2024) [4], in a survey, it was discovered that 70% of educators believe AI tools improve the learning outcomes of students, and 80% of them consider them useful in enabling real-time feedback. Not only does such incorporation make computer programming education more engaging, but it also makes students more willing to try out more advanced concepts with the assistance of AI, resulting in potentially more competent programmers and growth in the field.

Transformation of programming languages

According to the scientific paper by Jean E. Sammet from IBM corporation from July 1972 [5], a programming language is considered to be a set of characters and rules for combining them which have the following characteristics: (1) machine code knowledge is unnecessary; (2) there is good potential for conversion to other computers; (3) there is an instruction explosion (from one to many); and (4) there is a notation which is closer to the original problem than assembly language would be.

They also considered that virtually everyone agrees that today programming is an art, not a science.” That in the future we will care more and say to computer about WHAT to do, despite HOW to do, and it will apply the best algorithm by self. In that time (1972) FORTRAN were very popular, same as COBOL, but already existed more than 200 programming languages from 1952 to 1972. Note that 1950 were created the first assembly Programming Language [6].

Programming is the art, so, in the book “art of programming” [7], is described a lot of mathematical ideas that stands after the good program. There is described then how mathematical principles can help to use assembly language efficiently, and where they were applied, for example, in elevator system.

The rapid evolution of programming languages led to the development of C [8] in the early 1970s, designed for efficiency, control, and portability. As a general-purpose language, C provided modern control flow, data structures, and a rich set of operators while maintaining low-level flexibility, making it ideal for system programming. It replaced assembly in UNIX, with compilers emerging for diverse architectures like the IBM System/370. Derived from BCPL [9] and B, C introduced structured control flow, pointers, and function calls, addressing their

limitations by supporting complex data types and byte-addressed memory. These advancements made C dominant in system programming, influencing later languages and securing its historical significance.

BCPL (Basic CPL) was developed as a compiler-writing tool, originating from CPL (Combined Programming Language) at Cambridge and London Universities. Designed for system programming efficiency, BCPL simplified CPL's complexity by adopting a single data type—the binary bit pattern—allowing it to model various abstract objects like integers, strings, and functions. Built around an idealized object machine, BCPL ensured machine independence by representing data as storage cells labeled with integers. Key features included direct memory access through indirection and the distinction between Lvalues (storage locations) and Rvalues (bit patterns). BCPL introduced the Iv operator for retrieving Lvalues and refined assignment operations using Lmode and Rmode evaluation. Despite its minimalistic design, BCPL proved highly effective for system programming and compiler construction, influencing later languages like B and C.

Evolution of Programming Paradigms

To make research on this topic, we considered four main categories that were distinguished in this study. During the research we consulted verified sources, professional literature, online repositories and also other academic researches.

1. Cyclical Trends in Programming Paradigms

A certain cycle was observed how old ideas and concepts fade and after that return in response to new technological demands. Functional programming first became popular back in 1960s with Lisp but was replaced with object-oriented programming in the 1980s with languages like C++. Recently, functional programming regained interest with languages like Haskell, Scala, especially because multithreading was demanded by labor market. That's what tells us such sources as Wikipedia [10] and the Engineering and Technology History Wiki [11].

2. Type Systems and Software Reliability

The main role of the types systems in computer programming is software reliability. While statically typed languages, like Java, catch errors during compilation. Therefore, it reduces bugs before the program runs. A study from ResearchGate [12] supports good maintainability of static typing. But at the same time, dynamic languages, such as Python, are more flexible but has a certain drawback – the risk of runtime errors. There are a lot of discussions and arguments on platforms like Stack Overflow [13] weighing pros and cons but at the end it is all about the final product's specifications and developers' preferences.

3. Structured Programming and Its Enduring Influence

Structured programming appeared first in the 1960s due to such a problem like unreadable and unstructured code, replacing 'goto' statements with loops and functions. This improvement made code first of all easier to read and organize. Wikipedia [14] and GeeksforGeeks [15] mention that structured programming still influences modern languages like Python. It provides a modular and organized code.

4. Contemporary Trends in Language Design

Programming languages trying to get the best out of the ease of use and the capability of solving technical challenges. While Python focuses more on simplicity and semantic factors, Rust introduces a strict ownership model, provides the developer the freedom of actions, such as memory management. Some reports from GeeksforGeeks [16] and tech blogs [17] indicate that nowadays programming languages aim to make the development more efficient and safer, especially for memory handling in multi-core environments. For instance, Rust is more a conservative programming language that concerns more about memory safety and adapts them to today's needs.

Conclusions

Programming languages experienced a long journey in helping people write code and making more use of the computers. Each new step has tried to make coding easier and let computers do even more amazing things, progressing from the old days of punch cards to the AI tools we have now. Languages like C have influenced system programming, on the other hand Python has opened up development to a wider audience. AI is great for handling repetitive tasks like writing code, finding bugs, and teaching, but it still struggles with more complicated problems, emphasizing the importance of human creativity.

There's been a renewed interest in functional programming, especially for systems with multiple cores, and there's a focus on type systems and structured approaches to meet new challenges. Modern languages like Rust aim to combine user-friendliness with technical accuracy, particularly regarding memory management.

Programming is always changing. The new ideas we discover sometimes are just refined mixes of the old ones. As AI becomes more important, finding the right composition between machines doing tasks and people using their skills will be extremely important for creating programming languages that work well in our busy digital world.

References

1. LAKSHMANA, GOWDA, N. (2025). Evolution of Programming Languages: From Punch Cards to AI-Powered LLMs. *International Journal of Computer Applications Technology and Research*, 14. <https://doi.org/10.7753/IJCATR1401.1003>
2. CHOWDHARY, PROF. (2020). On the Evolution of Programming Languages. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2007.02699>
3. JAIN, R., THANVI, J., & SUBASINGHE, A. (2025). The evolution of ChatGPT for programming: A comparative study. *Engineering Research Express*, 7. <https://doi.org/10.1088/2631-8695/ada51d>
4. JH, A. (2024). Potentials of ChatGPT in Computer Programming: Insights from Programming Instructors. *Journal of Information Technology Education: Research*, 23(002). <https://doi.org/10.28945/5240>
5. SAMMET, J. E. (1972). Programming Languages: History and Future. *Communications of the ACM*, 15(7), 601–610. <https://doi.org/10.1145/361454.361485>
6. BOOTH, K. (n.d.). Kathleen Booth. *MacTutor History of Mathematics Archive*. https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Booth_Kathleen/
7. KNUTH, D. E. (1997). *The Art of Computer Programming, Volume 1: Fundamental Algorithms* (3rd ed.). Addison-Wesley. http://broiler.astrometry.net/~kilian/The_Art_of_Computer_Programming%20-%20Vol%201.pdf
8. DENNIS, J. B. (1978). The Evolution of Functional Programming Languages. *Bell System Technical Journal*, 57(6), 1991–2008. <https://archive.org/details/bstj57-6-1991/page/n5/mode/2up>
9. RICHARDS, M. (1996). The BCPL Cintcode System. *Software: Practice and Experience*, 26(6), 661–681. http://prog.vub.ac.be/~tjdhondt/ESL/BCPL_to_Cfront_files/p557-richards.pdf
10. Wikipedia contributors. (n.d.). Programming paradigm. *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. https://en.wikipedia.org/wiki/Programming_paradigm
11. Engineering and Technology History Wiki. (n.d.). Past programming languages and their influences on today's languages and programming paradigms. *ETHW*. https://ethw.org/Past_programming_languages_and_their_influences_on_today%27s_languages_and_programming_paradigms

12. MAYER, M., & GIL, J. (2013). An empirical study on the impact of static typing on software maintainability. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/259634489_An_empirical_study_on_the_impact_of_static_typing_on_software_maintainability
13. Stack Overflow contributors. (n.d.). What is the difference between statically typed and dynamically typed languages? Stack Overflow. <https://stackoverflow.com/questions/1517582/what-is-the-difference-between-statically-typed-and-dynamically-typed-languages>
14. Wikipedia contributors. (n.d.). Structured programming. Wikipedia, The Free Encyclopedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Structured_programming
15. GeeksforGeeks contributors. (n.d.). Structured programming approach with advantages and disadvantages. GeeksforGeeks. <https://www.geeksforgeeks.org/structured-programming-approach-with-advantages-and-disadvantages/>
16. GeeksforGeeks contributors. (n.d.). Top programming languages for 2025. GeeksforGeeks. <https://www.geeksforgeeks.org/top-programming-languages-of-the-future-2025/>
17. Blog contributors. (n.d.). Future of programming languages: Trends and innovations. EMB Blog. <https://blog.emb.global/future-of-programming-languages/>

SQL VS NOSQL: A COMPARATIVE STUDY OF PERFORMANCE IN MODERN APPLICATIONS

Magdalena MORARU

Department of Software and Automation Engineering, group IS-241M, Faculty of Computers, Informatics and Microelectronics, Technical University of Moldova, Chisinau, Moldova

*Corresponding author: Moraru Magdalena, moraru.magdalena@isa.utm.md

Abstract. *The evolution of data storage technologies has created a pivotal decision point for organizations: selecting between SQL (relational) and NoSQL (non-relational) databases. SQL databases, characterized by structured, schema-driven storage, excel in handling complex queries and ensuring ACID compliance, making them suitable for transactional systems. In contrast, NoSQL databases prioritize flexibility, scalability, and high performance, catering to unstructured or semi-structured data. This study examines the architectural distinctions, performance metrics, and practical applications of both technologies, offering a comprehensive analysis to assist organizations in aligning their database choice with specific operational requirements.*

Keywords: *data integrity, database scalability, horizontal scaling, relational model, schema flexibility, transactional consistency*

Introduction

In today's data-driven world, the choice between SQL and NoSQL databases plays an important role in determining application performance, as both technologies offer distinct advantages and trade-offs when it comes to handling data structure performance.

SQL databases follow a structured, relational model that organizes data into predefined tables with fixed schemas. These databases excel in handling complex queries, ensuring transactional integrity through ACID compliance, and supporting applications requiring strong consistency. However, their rigid schema design can make adapting to changes in data structure challenging, and scaling typically involves adding more resources to a single server (vertical scaling) [1].

NoSQL databases, in contrast, offer a flexible, schema-less structure that accommodates unstructured or semi-structured data. They support various models, such as document, key-value, and graph-based, making them well-suited for dynamic or large-scale datasets. NoSQL databases prioritize horizontal scaling, enabling efficient distribution of data across multiple servers. While they offer high performance and scalability, they often sacrifice strong consistency in favor of eventual consistency, making them less ideal for transactional use cases [2].

The objective of this paper is to determine which database type is better suited for modern applications.

Database models: A side-by-side comparison

When choosing a modern database, one of the biggest decisions is picking a relational (SQL) or non-relational (NoSQL) data structure. Both systems offer unique advantages and cater to different needs, making the choice between them crucial for optimal data management [3].

According to the comparative analysis [4] in Tab. 1, SQL databases offer ACID compliance, making them ideal for structured data and complex queries, but they struggle with scalability and rigid schemas. NoSQL databases, on the other hand, are highly scalable and handle unstructured or dynamic data efficiently, but they trade off consistency for availability and are less suited for transactional use cases.

Table 1

Comparative analysis: advantages and disadvantages [4]

Aspect	SQL	NoSQL
Advantages	ACID compliance ensures strong data integrity	Highly scalable for large-scale, distributed systems
	Robust for structured data and complex queries	Flexible schema for dynamic or unstructured data
	Widely supported and well-documented standards	High performance for real-time and big data needs
Disadvantages	Limited scalability to single-server architecture	Weaker consistency in favor of availability
	Rigid schema makes adapting to changes difficult	Less suited for transactional or relational use cases
	May struggle with handling large volumes of unstructured data	Lacks the maturity and standardization of SQL systems

Performance analysis

Performance is an important factor in selecting a database, as it directly impacts the efficiency of data processing and system scalability. The evaluation focuses on transaction handling, query speed, and the ability to manage large data volumes. By comparing these aspects, the analysis highlights the strengths and weaknesses of each database type, providing insights into their suitability for various application needs [5].

The analysis of data insertion in the Fig.1 show that MySQL outperforms CouchDB for larger datasets. MySQL's document-based approach performs similarly to CouchDB's second structure, but consistently faster than CouchDB's first structure. For smaller datasets, CouchDB's second structure has slightly better performance than both MySQL and its document-based counterpart. However, as the dataset size increases, MySQL maintains lower insertion times, especially for 1,000,000 entries, where CouchDB's first structure shows the slowest performance.

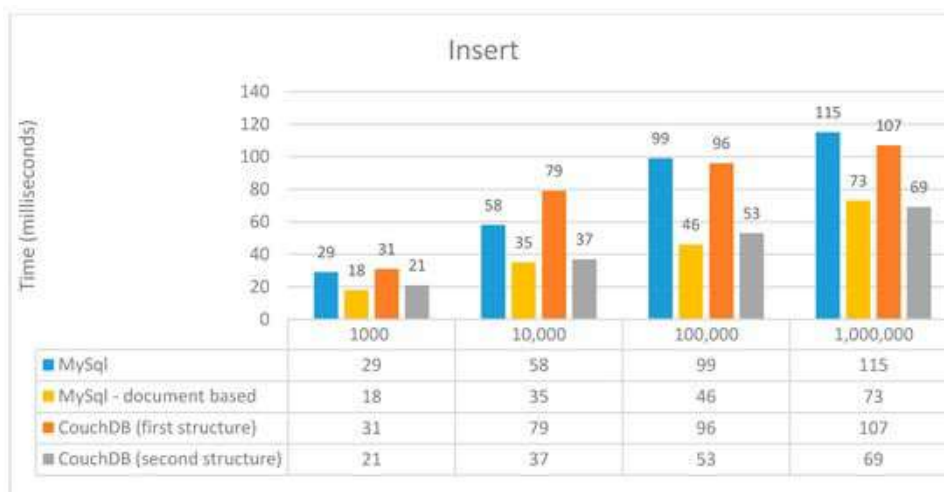


Figure 1. Performance time (ms) for the insert operation

The Fig.2 shows that for multiple updates, MySQL consistently outperforms CouchDB, especially with large datasets. MySQL's document-based approach performs significantly faster than CouchDB's first structure, particularly at 1,000,000 entries where CouchDB's first structure shows the slowest performance by a large margin. CouchDB's second structure improves update

times compared to the first structure but remains slower than both MySQL approaches. For smaller datasets, MySQL document-based is the fastest, followed closely by standard MySQL.

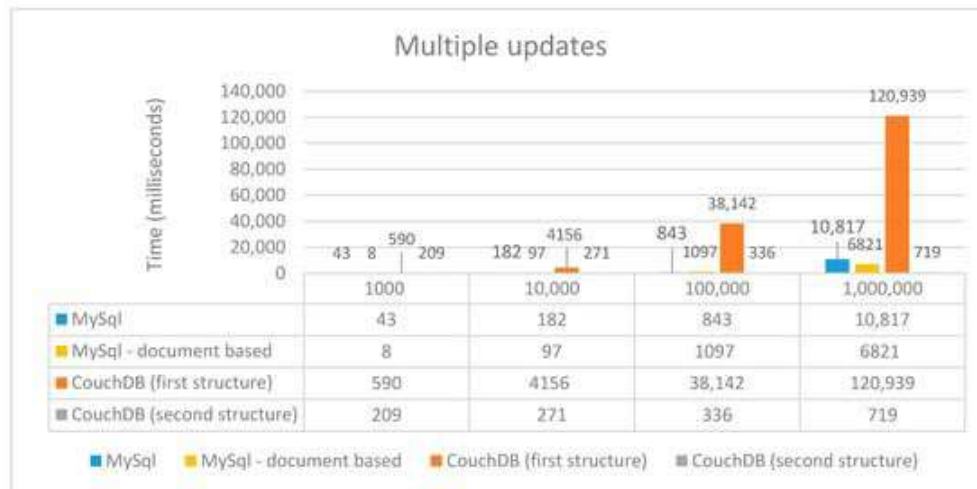


Figure 2. Performance time (ms) for the multiple update operation

The graph, illustrated in Fig.3 the performance of a complex select query involving four inner joins to retrieve all restaurants in Asia with a hotel that has more than 12 rooms. Document-based MySQL consistently delivers the fastest response times due to its efficient handling of documents without requiring multiple joins. In contrast, relational MySQL shows increased response times as the dataset grows, due to the overhead of table joins. CouchDB's first structure performs slower because it applies multiple filters sequentially, which significantly increases execution time. However, CouchDB's second structure achieves better performance by simplifying the query, passing conditions directly in the request body.



Figure 3. Performance time (ms) for select with four inner joins

The graph illustrated in Fig. 4, compares the performance of MySQL and CouchDB in soft delete operations as dataset size increases. MySQL is efficient with small datasets, handling 1,000 records in 97 milliseconds, but its performance declines sharply with larger datasets, taking 7,311 milliseconds for 1,000,000 records. In contrast, CouchDB's first structure starts slower but scales better, requiring 4,925 milliseconds for the same dataset size. The second CouchDB structure is the most efficient, completing the operation in 3,701 milliseconds for 1,000,000 records. This analysis highlights that while MySQL excels with smaller data volumes,

CouchDB, especially its second structure, is more suitable for large-scale data due to better scalability.

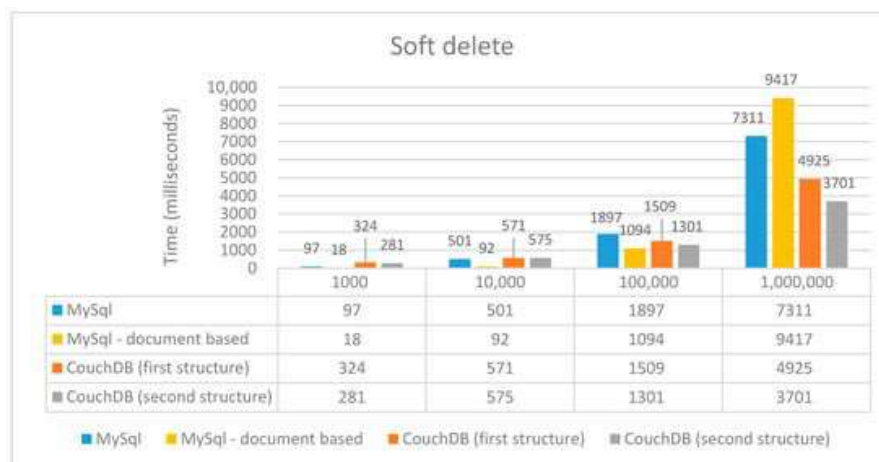


Figure 4. Performance time (ms) for soft delete

Conclusions

In conclusion, MySQL demonstrates superior performance for both data insertion and complex queries, particularly with large datasets. Its document-based model offers competitive speed, especially for complex select queries, where it outperforms CouchDB's more complex structures. However, CouchDB shows better scalability in update and delete operations, especially with its second structure, which handles large datasets more efficiently than MySQL.

Ultimately, the choice between MySQL and CouchDB depends on the type of application. MySQL is a better fit for applications with frequent complex queries and smaller datasets, such as transactional systems or applications requiring fast selects. On the other hand, CouchDB, especially with its second structure, is more suited for large-scale applications involving high-volume updates or deletions, making it ideal for big data or content management systems.

References

1. "What is SQL Database?" [Online]. Available: <https://azure.microsoft.com/en-us/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-sql-database>
2. "What is NoSQL Database?" [Online]. Available: <https://cloud.google.com/discover/what-is-nosql?hl=ro>
3. "SQL vs NoSQL: 5 Critical Differences" [Online]. Available: <https://www.integrate.io/blog/the-sql-vs-nosql-difference/>
4. "Understanding SQL vs NoSQL Databases" [Online]. Available: <https://mongodb.com/resources/basics/databases/nosql-explained/nosql-vs-sql>
5. "Performance Analysis of NoSQL and Relational Databases." [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/23/8524>

HOW NOTIFICATION DESIGN EXPLOITS COGNITIVE BIASES AND DIMINISHES DIGITAL WELLBEING

Aurelian-Mihai TIHON*, Lucian-Adrian GAVRIL, Vitalie VASILEAN

Department of Software Engineering and Automation, group FAF-241, Faculty of Computers, Informatics and Microelectronics, Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova

*Corresponding author: Aurelian-Mihai TIHON, email aurelian-mihai.tihon@isa.utm.md

Abstract. *The digital age's connectivity has fueled an "attention economy" where platforms design notification systems to exploit cognitive biases like FOMO, variable reinforcement, and the availability heuristic. Far from neutral, these systems use non-unique sounds, red dots, and unpredictable alerts to hijack attention, fostering chronic hyper-vigilance, stress, and reduced agency. "Phantom vibration syndrome" illustrates the physiological toll of this constant anticipation. Additionally, the flood of notifications blurs work-life boundaries, leading to information overload, cognitive fatigue, and burnout. To counter these effects, this article advocates for greater transparency in notification design, regulatory measures, enhanced digital literacy, and human-centered approaches that prioritize well-being over engagement metrics.*

Keywords: *digital interruption, persuasive technology, user engagement strategies, behavioral conditioning, compulsive checking, technology addiction.*

Introduction

The digital age has ushered in an era of unprecedented connectivity, but this constant connection comes at a cost. While much attention has been focused on individual user habits and the addictive nature of specific apps, a less-examined but equally critical factor lies in the systemic design of notification systems. These systems, far from being neutral conduits of information, are carefully crafted architectures of control, subtly shaping our behavior and diminishing our digital well-being in ways that are often invisible to the average user. This article argues that the pervasiveness and design choices of notification systems create a state of chronic hyper-vigilance, contributing to stress, anxiety, and a diminished sense of agency.

The modern digital landscape is defined by an intense competition for user attention, a dynamic often referred to as the "attention economy." Within this environment, digital platforms employ a range of strategies to maximize engagement, and among the most powerful are notifications. These seemingly innocuous alerts—a chime, a vibration, a visual cue—are, in reality, carefully crafted instruments that exploit basic cognitive biases, frequently with detrimental consequences for the wellbeing of users. This paper argues that the design of notifications is not neutral; it is a deliberate and calculated method that capitalizes on psychological vulnerabilities to drive engagement, often at the expense of individuals' mental and emotional health.

One of the most striking manifestations of this systemic influence is the phenomenon known as "phantom vibration syndrome." Individuals experiencing this condition report feeling their phone vibrate even when no actual notification has been received [1]. This is not a mere quirk of perception; it reflects a profound physiological adaptation to the constant expectation of digital interruption. Our nervous systems, in a sense, become pre-programmed to anticipate notifications, creating a baseline state of heightened arousal that contributes to chronic stress and anxiety [2]. This anticipatory state is not accidental; it is actively cultivated by the design features of many popular applications.

Consider, for instance, the strategic decision by many social media platforms to not utilize unique notification sounds. Unlike dedicated communication tools like Slack, which

employ distinct audio cues to signal important work-related alerts, many social media apps rely on the default notification sounds of the user's operating system. This creates a deliberate ambiguity. The user, upon hearing a generic alert, cannot immediately determine its source, fostering a sense of uncertainty that amplifies the compulsion to check. Is it a crucial email? A social media update? A news alert? This ambiguity is a key element of the system's persuasive power. This design tactic increases the likely hood of the user interacting with the application, which contributes greatly to its revenue [3].

The Physiology of Anticipation

One of the primary psychological mechanisms exploited is the Fear of Missing Out (FOMO). One of the most potent biases exploited by notification design is the Fear of Missing Out (FOMO). Social media platforms, in particular, leverage this innate human fear by creating notifications that suggest potential social connections or information that the user might be missing [1]. FOMO, the pervasive apprehension that others might be having rewarding experiences from which one is absent, is a powerful driver of human behavior [1]. Social media platforms, in particular, are masters at leveraging this fear. Notifications about likes, comments, messages, and new posts are carefully calibrated to trigger FOMO, creating a sense of urgency and a compulsion to check the app. This generates a sense of urgency, compelling users to check their devices and re-engage with the platform. The visual design of these notifications, commonly utilizing red badges, further intensifies this effect. The visual design of these notifications, often featuring prominent red dots or badges, further amplifies this effect. Red, a color long associated with danger and the need for immediate action, triggers a heightened attentional response, making it difficult for users to ignore these prompts [2]. Red, a color universally associated with danger, alerts, and importance, grabs our attention and makes it difficult to ignore the notification [2].

Cognitive Biases and Notification Design

Beyond FOMO, the principle of variable intermittent reward, a concept deeply embedded in behavioral psychology and widely used in the design of gambling systems, is a fundamental component of notification design. Another critical bias is the principle of variable intermittent reinforcement, a concept borrowed from behavioral psychology and famously used in the design of slot machines [3]. Notifications offer unpredictable rewards. Sometimes, a notification indicates a meaningful social interaction or valuable information; at other times, it is completely trivial. This unpredictability is precisely what makes notifications so addictive. It fosters a compulsive checking habit, driven by the anticipation of a potential "payoff," similar to the behavior seen in operant conditioning experiments [3]. This constant state of anticipation contributes to heightened stress levels and a pervasive feeling of being perpetually "on alert." We never quite know when a notification will arrive or what it will contain. Sometimes it's a genuinely important message or a rewarding social interaction; other times, it's trivial or even unwanted. This unpredictability is precisely what makes notifications so addictive. It creates a "compulsion loop," where users are constantly checking their devices in anticipation of a potential reward, even if most notifications are ultimately unsatisfying [4]. This constant state of anticipation elevates stress hormones and contributes to a feeling of being perpetually "on edge."

This design strategy bears a striking resemblance to the principles employed in the design of casino environments. Casinos are meticulously crafted to maximize player engagement and minimize the likelihood of disengagement. Ambient noise, carefully controlled lighting, and even the layout of the floor are all designed to create a state of heightened arousal and maintain a sense of timelessness, encouraging continuous play [5]. Similarly, the ambiguity and unpredictability of notification systems create a low-level, constant state of engagement, making it difficult for users to consciously disengage and reclaim their attention [6].

The availability heuristic also plays a significant role. This cognitive bias leads us to overestimate the importance of information that is readily available to our minds [5]. Notifications, by their very nature, make certain information (e.g., social media updates, news headlines) highly salient and easily accessible. This can distort our perception of reality, leading us to overemphasize the importance of online interactions and events while neglecting other, potentially more meaningful, aspects of our lives. The constant stream of notifications can create a sense of urgency and immediacy, even when the underlying information is not particularly important or time-sensitive.

Furthermore, notification design often leverages the endowment effect, our tendency to overvalue things we already possess [6]. When a notification signals a new "like" or comment on a social media post, it subtly reinforces our sense of ownership over that content and our online persona. This can lead to an inflated sense of self-importance and a greater investment in maintaining and enhancing our online presence, often at the expense of real-world interactions and activities.

It is also essential to acknowledge that not all "screen time" is equivalent, and the type of notification significantly impacts its effect. Different categories of notifications—social media updates, news alerts, work-related emails—elicit distinct cognitive and emotional reactions [7]. The phenomenon of "doomscrolling," for example, the compulsive consumption of negative news, can amplify anxiety and contribute to a sense of helplessness. Research suggests a possible connection between this behavior and increased political polarization [8].

The implications of this "unseen architecture of control" extend beyond individual wellbeing. By shaping our attention and behavior in subtle but pervasive ways, notification systems have the potential to influence our cognitive processes, our social interactions, and even our political engagement. The constant influx of information, often fragmented and emotionally charged, can contribute to information overload, making it more difficult to engage in critical thinking and reasoned decision-making [7]. The pressure to stay constantly connected can also erode the boundaries between work and personal life, leading to burnout and a diminished sense of overall life satisfaction [8].

The sheer quantity of notifications also contributes significantly to the problem. The human cognitive system is not equipped to process a continuous stream of interruptions. The constant switching of attention, prompted by the influx of notifications, fragments focus, diminishes cognitive performance, and increases mental fatigue [4]. Nicholas Carr, in his influential book "The Shallows," contends that the internet, and by extension the constant interruptions it enables, is fundamentally reshaping our brains, making sustained, focused thought more challenging [5]. This problem is especially pronounced in the context of the "always-on" culture, increasingly prevalent in remote work situations, where the boundaries between work and personal life are blurred, leading to chronic stress and a higher risk of burnout [6].

Conclusions

Addressing this pervasive manipulation requires a multi-faceted approach. Addressing this systemic challenge requires a multi-pronged approach. First and foremost, users need to become more aware of the cognitive biases that are being exploited. Digital literacy education should include training on how to recognize and resist these manipulative techniques. Secondly, app developers and platform designers have a responsibility to adopt more ethical design principles. This includes minimizing the use of variable rewards, reducing the frequency of notifications, and providing users with greater control over their notification settings. Firstly, greater transparency is needed regarding the design principles and algorithms that govern notification systems. Users should be informed about how these systems are designed to capture and maintain their attention. Secondly, regulatory frameworks may be necessary to limit the most manipulative aspects of notification design, such as the deliberate creation of ambiguity

and the exploitation of psychological vulnerabilities. Finally, and perhaps most importantly, we need to cultivate a greater awareness of the subtle ways in which technology shapes our behavior and empower individuals to take control of their digital environments. This includes promoting digital literacy, encouraging mindful technology use, and advocating for design choices that prioritize human wellbeing over engagement metrics.

It also necessitates a conscious move away from exploitative design elements, such as variable rewards, in favor of designs that prioritize the user's wellbeing. Transparency is crucial; users should be informed about the persuasive design techniques used by digital platforms in order to foster digital literacy, including an understanding of cognitive biases and how they are manipulated in online environments, is vital to empowering individuals to navigate the attention economy more consciously. Finally, regulatory bodies may need to consider interventions to protect users from the most egregious forms of attention manipulation.

In conclusion, notifications are far more than simple alerts; they are powerful tools of psychological manipulation. In conclusion, the current design paradigm of notifications represents a subtle yet substantial threat to digital wellbeing. By understanding the cognitive biases they exploit, we can begin to challenge the dominance of the attention economy and create a digital environment that supports, rather than undermines, our wellbeing. By recognizing these systems as architectures of control and understanding the mechanisms through which they operate, we can begin to reclaim our attention, our agency, and our ability to live fulfilling lives in the digital age. A more thoughtful and ethical approach to notification design, rooted in an understanding of human psychology and a commitment to user wellbeing, is essential for creating a digital environment that supports, rather than undermines, human flourishing.

References

1. DEB, A. PHANTOM vibration and phantom ringing among mobile phone users: A systematic review of literature. In: *Asia-Pacific Journal of Public Health*, 2015, 27(2), pp. NP407-NP414.
2. KROSS, E., VERDUYN, P., DEMIRALP, E., PARK, J., LEE, D. S., LIN, N., ... & YBARRA, O. Facebook use predicts declines in subjective well-being in young adults. In: *PloS one*, 2013, 8(8), e69841.
3. TUREL, O., & SERENKO, A. The benefits and dangers of enjoyment with social networking websites. In: *European Journal of Information Systems*, 2012, 21(5), pp. 512-528.
4. PRZYBYLSKI, A. K., MURAYAMA, K., DEHAAN, C. R., & GLADWELL, V. Motivational, emotional, and behavioral correlates of fear of missing out. In: *Computers in Human Behavior*, 2013, 29(4), pp. 1841-1848.
5. ELLIOT, A. J. Color and psychological functioning: a review of theoretical and empirical work. In: *Frontiers in psychology*, 2015, 6, 368.
6. SKINNER, B. F. *Science and human behavior*. Simon and Schuster, 1953.
7. EYAL, N. *Hooked: How to build habit-forming products*. Penguin, 2014.
8. SCHÜLL, N. D. *Addiction by design: Machine gambling in Las Vegas*. Princeton University Press, 2012.

BRIDGING REALITY AND FANTASY: AN ANALYSIS OF SIMULATED PHYSICS IN INTERACTIVE GAME WORLD

Bogdan ARAMĂ*, Ina PANCENCO, Adelina TEMCIUC

*Department of Software Engineering and Automation, Faculty of Computers, Informatics, and Microelectronics,
Technical University of Moldova, Chişinău, Republic of Moldova*

*Corresponding author: Bogdan ARAMĂ, bogdan.arama@isa.utm.md

Abstract. *This paper examines the application of fundamental physics concepts within a dynamic interactive environment. It explores how gravitational simulation, projectile dynamics, collision detection, and energy dissipation are implemented to enhance both realism and strategic gameplay. Additionally, the analysis delves into the integration of materials science and structural physics, as well as the computational challenges inherent in simulating natural phenomena such as fluid motion and destructible objects. Overall, the study highlights the techniques used to create immersive and responsive virtual worlds.*

Keywords: *Collision Detection, Energy Dissipation, Fluid Dynamics, Physics Simulation, Projectile Dynamics.*

Introduction

Bringing real-world physics into interactive environments is what makes digital experiences feel real and immersive. Modern game engines use principles from Newtonian mechanics, fluid dynamics, and materials science to mimic natural movements—like objects falling due to gravity, projectiles following curved paths, and realistic interactions with the environment. These details help create worlds that feel authentic and engaging for players. This study explores how these core physics concepts influence character movement, combat mechanics, and environmental storytelling. Understanding this topic is essential because physics-based interactions enhance realism, improving player immersion and gameplay mechanics. Before conducting this study, research indicated that game engines effectively integrate physical principles, but developers often struggle with balancing realism and computational efficiency. This paper follows a structured approach by analyzing case studies where physics contributes to gameplay mechanics. The methodology includes evaluating the effectiveness of different simulation techniques and identifying potential optimizations that maintain performance without sacrificing authenticity.

Core Physics Concepts in Genshin Impact

At the heart of *Genshin Impact* lies a robust simulation of gravity. Characters and enemies are affected by a gravitational force that causes them to fall from elevated positions. In *Genshin Impact*, the way characters and objects move follows real-world physics, making the gameplay feel natural and immersive. For example, fall damage is based on how far a character drops—just like in real life, where a greater height means a harder landing. When Xiao performs his Plunging Attack, his fall isn't just controlled by the player but also influenced by gravity, ensuring that the impact matches the height he fell from. The game also includes ways to reduce or avoid fall damage, like gliding or landing in water, which reflect real concepts like terminal velocity and energy absorption.

Projectiles, such as arrows and bombs, don't just travel in straight lines—they follow smooth, curved paths, just as they would in reality. When a character shoots an arrow or launches an explosive, gravity gradually pulls it down, creating a natural-looking arc. While the game simplifies the physics, it still feels intuitive to players, requiring them to consider distance

and elevation when aiming. The angle and speed of a shot affect how far and high the projectile travels—an arrow fired at a steep angle will rise higher before falling, while one shot at a lower angle will travel farther before hitting its target. These mechanics add both realism and depth to combat, making every shot a mix of skill and strategy.

This aspect of projectile motion encourages players to consider how different weapons and skills produce varying trajectories. Whether it's an arrow from a bow or an explosive bomb that bounces off surfaces, these differences add a layer of strategy to combat.

Not all projectiles simply follow a curved path until they hit a target or the ground. Some, like Klee's bombs, interact with their surroundings by bouncing off walls or other surfaces. When these projectiles hit a surface, a portion of their energy is lost, causing them to slow down with each bounce. This energy dissipation is carefully tuned to ensure that the projectile doesn't continue bouncing indefinitely, but rather comes to a stop after a realistic number of impacts. Such behavior is inspired by the way real objects lose kinetic energy due to friction and inelastic collisions.

The surrounding environment also plays a significant role in how projectiles behave. For instance, wind or other environmental factors might be simulated in subtle ways to influence the path of an arrow, making it deviate slightly from its ideal path. In addition, different surfaces can affect the bounce dynamics; a rough surface might absorb more energy than a smooth one. This interaction with the environment deepens the gameplay experience by requiring players to adapt their tactics based on where the battle takes place.

Understanding projectile dynamics is not just an academic exercise it has direct implications for strategy in Genshin Impact. Players who master the art of aiming and timing can take advantage of the natural arcing motion to hit targets that are moving or hidden behind obstacles. The realistic simulation of energy loss in bouncing projectiles adds another strategic layer; knowing how many bounces a bomb will make before it loses its potency can determine when and where to deploy it for maximum effect.

The game also features dynamic interactions during combat, where heavy attacks and explosions generate knockback effects. Lightweight enemies are easily displaced by strong forces, while larger foes, like Lawachurls, exhibit resistance—an outcome that resonates with the concept of inertia and momentum conservation [2]. In certain instances, skills such as Jean's charged attack launch enemies into the air. These mechanics simulate real-world forces and subsequent motion; launched enemies eventually succumb to gravity, often taking fall damage upon landing, thus connecting back to the gravitational physics described earlier.

Climbing in Genshin Impact introduces another layer of complexity with its integration of stamina consumption. The physics here is twofold: first, it involves modeling the energy expenditure and momentum loss when climbing, and second, it factors in the friction between the character and the surface. Running out of stamina results in a loss of grip and a subsequent fall, highlighting the importance of energy conservation in physical systems.

While real-world fluid behavior is governed by complex equations, such as the Navier-Stokes equations, video games rarely solve these in full detail due to performance constraints. Instead, developers use simplified approaches that capture the essential characteristics of water motion. These may include approximations like the shallow water equations, potential flow models, or even particle-based methods like Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) for more interactive scenarios. Such techniques allow for visually impressive water effects—dynamic ripples, splashes, and reflective surfaces—while keeping the calculations efficient enough for real-time gameplay.

The dynamic nature of water in Genshin Impact isn't just about physics—it's also about visual storytelling. Realistic water surfaces, splashes when characters enter or exit water, and the way floating objects interact with waves all contribute to an immersive environment. These effects, combined with the underlying physics of buoyancy and drag, help to bridge the gap between simulation and artistry, giving players an intuitive feel for how water behaves [3].

Materials Science & Structural Physics play a crucial role in shaping the interactive environment of Genshin Impact. The game implements destructible objects like wooden crates, barrels, and ice blocks, which break upon melee attacks. This mechanic enhances immersion by making the world interactive and responsive [4]. Some objects, like fire barrels, explode when hit with Pyro, adding strategic depth. The destruction physics uses pre-programmed breakage points rather than real-time structural calculations, balancing performance with realism [5].

Destructible objects have evolved from static decorations to interactive elements. Early game engines used simple sprite changes or pre-rendered animations, while modern physics engines incorporate rigid body dynamics and particle effects for more realism [4]. In Genshin Impact, destructible objects also interact with environmental mechanics like elemental reactions, further enriching gameplay [5].

Game Engines

A core aspect of Genshin Impact's physics system is Unity's built-in physics engine, which balances realism and performance [6]. It manages collision detection, rigid body dynamics, destructible elements, character movement, and environmental interactions. To ensure efficiency, the game employs predefined destruction models rather than real-time fracturing [7]. Unity's physics system is built on Nvidia PhysX, which provides real-time physics simulations optimized for gaming environments, ensuring stable interactions between objects and characters [8].

Physics engines modify real-world physics for enhanced gameplay. Destructible objects do not break in fully realistic ways but follow scripted animations for visually satisfying effects without excessive processing demands [6]. Similarly, explosive objects react based on game logic rather than precise thermodynamics, ensuring accessibility and smooth performance [7].

Another critical aspect of game physics is environmental interaction. Fire barrels react dynamically, creating chain reactions that damage enemies or alter the battlefield [2]. Physics also impacts character movement, such as climbing, gliding, and swimming, all influenced by stamina and environmental conditions [6]. This demonstrates how Genshin Impact's physics engine integrates materials science with interactive gameplay [4].

The physics engine serves as the backbone of Genshin Impact's world, allowing destructible objects and elemental interactions to coexist seamlessly [6]. By leveraging Unity's physics system, the game balances realism and efficiency, ensuring physics-driven mechanics enhance rather than hinder gameplay [7]. The use of materials science principles, such as destructible objects and explosive barrels, showcases how video games create immersive environments while maintaining computational efficiency [4].

Challenges in Implementing Physics in Games

Implementing physics in video games presents a range of challenges, including efficient state management, handling computational demands, and ensuring stability in complex interactions. Balancing realism with performance, developers must address issues such as collision detection, asset management, and the unpredictability inherent in chaotic systems. Engines typically break down applications in terms of states, and an application engine should allow efficient state transitions while maintaining previous statuses. Developers must manage an iterative routine for updating each object within the state. In this context, an object is an abstract class that must be overridden to ensure efficient execution without performance bottlenecks. Furthermore, the engine must efficiently manage assets by providing mechanisms to load and unload them. Additionally, the system needs to track memory usage for these assets to ensure they are appropriately removed when no longer needed [9].

Engines typically break down applications in terms of states, and an application engine should allow efficient state transitions while maintaining previous statuses. Developers must manage an iterative routine for updating each object within the state. In this context, an object is an abstract class that must be overridden to ensure efficient execution without performance bottlenecks. Furthermore, the engine must efficiently manage assets by providing mechanisms to

load and unload them. Additionally, the system needs to track memory usage for these assets to ensure they are appropriately removed when no longer needed [9].

Another key challenge relates to the computational load and simulation precision. For example, in open-world games like Genshin Impact, the simulation of natural environments (e.g., trees, lakes, and cliffs) must make concessions due to finite computational capabilities. As a result, the environment may not be updated in real-time. One of the most common objects that isn't treated as a solid entity is tree foliage.

Collision detection is another challenge in implementing physics. The computational intensity of collision detection increases as the number of objects (n) in a scene grows, typically following $O(n^2)$ complexity. This can become computationally expensive, particularly when multiple collisions occur simultaneously [10].

To reduce the computational load, hitbox simplification techniques are often used. Simple shapes, such as Axis-Aligned Bounding Boxes (AABB), Oriented Bounding Boxes (OBB), and spheres, are commonly employed as hitboxes. These shapes are easier to compute for collision detection compared to more complex models, which helps save processing power and improve performance. However, this can lead to inaccuracies, such as “false positives” in collision detection, where it appears that a character was hit, but it was not actually within the attack's path from the player's perspective [10].

In the context of video games, stability issues often arise, particularly in systems governed by deterministic chaos and nonlinear interactions. Just as in physics, the understanding of chaotic systems has reshaped how we think about predictability in gaming dynamics. In some game mechanics, such as AI behavior, environmental interactions, or physics engines, small changes in initial conditions—whether through a player's actions, a random seed, or object placement—can lead to drastically different outcomes. This makes long-term predictability challenging. For instance, in simulation-based games or procedural generation, even minor adjustments can cause unexpected results, resulting in emergent gameplay or unpredictable events. This unpredictability, similar to deterministic chaos in physics, adds complexity and excitement to the gameplay but also introduces stability issues that complicate maintaining consistent game behavior [11].

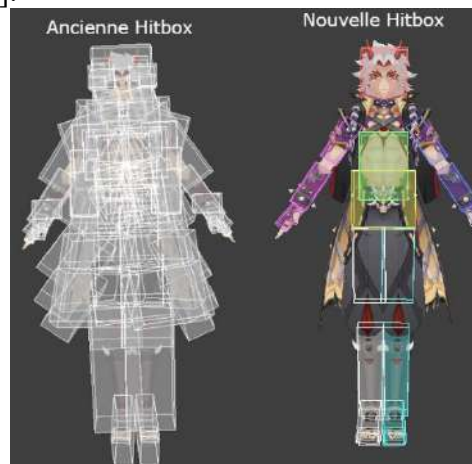


Figure 1. Hitboxes in Genshin Impact

Conclusion

This study shows how physics enhances gameplay in Genshin Impact, using mechanics like gravity, projectile motion, and destructible objects. The game balances realism and performance by simplifying real-world physics principles while keeping interactions engaging and strategic. The research question—how physics is used to improve gameplay has been answered through examples like falling damage, projectile arcs, and knockback effects. Developers use simplified physics models to make the game feel natural while keeping

performance smooth. This study focuses only on Genshin Impact, so the findings may not apply to all games. Also, a deeper technical analysis, such as developer insights or code reviews, could provide more details on implementation challenges. Future research could compare physics engines in other games, explore water physics in more detail, or look into AI-driven physics simulations to improve realism and efficiency. The findings highlight the importance of physics in game design. Understanding these mechanics helps developers create more immersive experiences while ensuring games run efficiently. Improving physics simulations can make virtual worlds even more interactive and engaging.

References:

1. HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J. Fundamentals of Physics. 10th Edition. USA: Wiley, 2013. Available: https://books.google.md/books/about/Fundamentals_of_Physics_Extended_10th_Ed.html?id=DTccAAAAQBAJ&redir_esc=y
2. TIPLER, P.A., MOSCA, G. Physics for Scientists and Engineers. 6th Edition. New York City: W. H. Freeman, 2007. Available: https://books.google.md/books/about/Physics_for_Scientists_and_Engineers.html?id=AttDBYgLeZkC&redir_esc=y
3. WHITE, F.M. Fluid Mechanics. 7th Edition. New York City: McGraw-Hill, 2010. Available: http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM240/Marchi/Bibliografia/White_2011_7ed_Fluid-Mechanics.pdf
4. BOURG, D. M. Physics for Game Developers. Sebastopol: O'Reilly Media, 2001. Available: https://books.google.md/books?hl=ro&lr=&id=YHamXqda_swC&oi=fnd&pg=PR9&dq=Articles+about+physics+in+games&ots=qRC_94txYG&sig=4bhwIjNrugEDa17GWtfRSk-FQ4E&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
5. HECKER, C. Physics in computer games. ACM Association for Computing Machinery [online]. [accessed 06.03.2025]. Available: <https://dl.acm.org/doi/fullHtml/10.1145/341852.341861>
6. BEBIS, G., BOYLE, R., PARVIN, B., KORACIN, D., FOWLKES, C., WANG, S., CHOI, M., MANTLER, S., SCHULZE, J., ACEVEDO, D., MUELLER, K., PAPKA, P. Advances in Visual Computing. In: 8th International Symposium, ISVC 2012, Rethymnon, Crete, Greece, July 16-18, 2012, Revised Selected Papers, Part II Available: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-33191-6_34
7. CENGIZ, A., B. Solving and visualizing the mechanical problems in physics by computer: M.Sc. Thesis. Izmir(Turkey): Graduate School of Natural and Applied Sciences, 2020. Available: <https://www.proquest.com/openview/ec7f1bdbbcc20ba5cd379f723ea4eb62/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>
8. Unity Technologies. Physics in Unity. [online]. [accessed 06.03.2025]. Available: <https://docs.unity3d.com/Manual/PhysicsSection.html>
9. TEMPLET, M. Game Physics: An Analysis of Physics Engines for First-Time Physics Developers: M.Sc. Thesis. Northridge (USA): California State University, 2020. Available: <https://scholarworks.calstate.edu/downloads/z890s004h>
10. FANG, X. HCI in Games: Experience Design and Game Mechanics. In: Third International Conference, HCI-Games 2021, Held as Part of the 23rd HCI International Conference, HCII 2021, Virtual Event, July 24–29, 2021, Proceedings, Part I/
11. HOLOVATCH, Y., KENNA, R., THURNER, S. Complex systems: physics beyond physics. In: European Journal of Physics, 2017, 38(2).

INTELIGENȚA ARTIFICIALĂ ÎN TESTAREA DE PENETRARE: OPORTUNITĂȚI ȘI PROVOCĂRI

Sorin CAPUSTEAN

Departamentul Ingineria Software și Automatică, grupa SI-241M, Facultatea Calculatoare, Informatică și
Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Moldova

Îndrumătorul științific Natalia BURLACU, conf. univ. dr., Departamentul Informatică și Ingineria
Sistemelor, Facultatea Calculatoare, Informatică și Microelectronică, UTM, Chișinău, Moldova

Rezumat. Testarea de penetrare reprezintă un instrument esențial pentru evaluarea securității cibernetice moderne, însă metodele tradiționale manuale întâmpină limitări semnificative în fața complexității crescânde a infrastructurilor informatice. În acest context, inteligența artificială (IA) și tehnicile de învățare automată (ML) oferă oportunități promițătoare pentru automatizarea și optimizarea proceselor de testare. Lucrarea analizează integrarea IA în testarea de penetrare, prezentând avantajele majore, precum scalabilitatea, reducerea costurilor și îmbunătățirea performanței, dar și provocările asociate, cum ar fi lipsa de transparență a modelelor și riscurile etice sau tehnice. Sunt examinate instrumente concrete, precum DeepExploit și Pentera, care ilustrează aplicabilitatea tehnologiilor emergente. De asemenea, este discutată necesitatea dezvoltării soluțiilor de inteligență explicabilă (XAI) și consolidarea rezilienței sistemelor la atacuri adversariale. În concluzie, IA nu înlocuiește expertiza umană în testarea de penetrare, ci o amplifică, deschizând perspective noi pentru un viitor al securității cibernetice bazat pe colaborarea om-mașină.

Cuvinte cheie: testare de penetrare, inteligență artificială, învățare automată, securitate cibernetică, automatizare

Introducere

Într-o eră a digitalizării accelerate, securitatea informațională a devenit esențială pentru funcționarea și dezvoltarea organizațiilor. Odată cu expansiunea aplicațiilor web, a infrastructurilor cloud, a dispozitivelor IoT și a serviciilor digitale, expunerea la atacuri cibernetice sofisticate crește semnificativ[1]. În acest context, testarea de penetrare (penetration testing) joacă un rol crucial, simulând atacuri controlate pentru a descoperi vulnerabilități înainte de a fi exploatare de actori rău intenționați[2].

În mod tradițional, aceste teste sunt realizate manual de echipe de ethical hackers. Totuși, această abordare este costisitoare, consumatoare de timp și depinde de expertiza umană[3]. Creșterea complexității aplicațiilor și lipsa specialiștilor în securitate cibernetică îngreunează și mai mult scalarea eficientă a testelor.

Inteligența artificială (IA) și învățarea automată (ML) oferă o alternativă promițătoare. Acestea permit analiza rapidă a volumelor mari de date, identificarea tiparelor subtile și generarea automată de scenarii de atac adaptate aplicației[4]. Modelele ML se pot adapta continuu la noi date și amenințări, contribuind la o testare mai proactivă și constantă.

Totuși, integrarea IA implică și provocări: lipsa de transparență a deciziilor, riscul de erori, implicațiile etice și posibilitatea ca IA să devină țintă pentru atacuri adversariale[5]. În acest context, este necesară o analiză critică a utilizării IA în testarea de penetrare. Lucrarea de față explorează aceste aspecte, având ca bază literatura de specialitate și tendințele actuale din domeniul securității cibernetice.

Fundamente teoretice

Testarea de penetrare (penetration testing sau pentest) este o metodă sistematică de evaluare a securității unui sistem informatic, prin simularea unor atacuri controlate. Scopul este identificarea vulnerabilităților tehnice și organizaționale înainte de a fi exploatare de atacatori

reali[2]. Un pentest eficient implică nu doar testarea componentelor tehnice, ci și analiza configurărilor greșite, a proceselor interne și a factorului uman.

Inteligența artificială (IA) este ramura informaticii care dezvoltă sisteme capabile să realizeze sarcini ce necesită inteligență umană, precum recunoașterea tiparelor și luarea deciziilor. În securitatea cibernetică, IA permite detecția avansată a amenințărilor, automatizarea testării și răspunsul rapid la incidente[6].

Învățarea automată (machine learning – ML), subdomeniu al IA, folosește algoritmi care învață din date și își îmbunătățesc performanța în timp[4]. Astfel, în locul unor instrucțiuni fixe, sistemele ML identifică autonom modele complexe și acționează în consecință. Această capacitate este esențială în mediile dinamice, unde vectorii de atac evoluează constant.

Un concept-cheie în aplicarea IA este inteligența artificială explicabilă (XAI – explainable AI), care urmărește transparența deciziilor automate[7]. În testarea de penetrare, XAI este important pentru ca rezultatele algoritmilor să fie înțelese, justificate și auditate. Modelele trebuie să ofere explicații clare despre motivele identificării unei vulnerabilități sau ale alegerii unui vector de atac.

Adoptarea IA și a XAI în testarea de penetrare deschide drumul spre o abordare modernă, scalabilă și eficientă, capabilă să țină pasul cu ritmul accelerat al amenințărilor cibernetică.

Metodologie

Utilizarea inteligenței artificiale în testarea de penetrare implică o combinație sofisticată de tehnologii, metode și instrumente dedicate automatizării procesului de identificare, exploatare și evaluare a vulnerabilităților[8]. Implementarea cu succes a unui sistem AI-based presupune mai multe etape logice, fiecare cu specificități proprii.

Primul pas constă în colectarea și prelucrarea datelor. Sistemele ML necesită volume semnificative de date etichetate din scanări anterioare, rapoarte, fișiere de configurare, cod sursă sau trafic de rețea. Acestea sunt curățate, normalizate și structurate pentru a fi utilizabile de algoritmi. Alegerea modelelor algoritmice este esențială. Printre cele mai utilizate tehnici se numără:

- *Clasificatori Random Forest sau SVM* – pentru clasificarea traficului sau a vulnerabilităților;
- *Rețele neuronale convoluționale (CNN)* – în analiza codului sursă și a semnalelor din medii cloud;
- *Învățare prin întărire (RL)* – pentru explorarea infrastructurilor necunoscute și identificarea cailor optime de atac;
- *Modele NLP* – pentru extragerea automată de date sensibile din fișiere, mesaje de eroare sau documentații.[9]

După antrenarea modelelor, acestea sunt integrate într-un flux automatizat, care include:

1. *Recunoaștere automată* – scanare și colectare de informații;
2. *Analiza vulnerabilităților* – clasificarea vectorilor de atac;
3. *Exploatare asistată* – selectarea automată a exploiturilor;
4. *Post-exploatare* – evaluarea accesului obținut;
5. *Învățare adaptivă* – actualizarea continuă a cunoștințelor pe baza rezultatelor.

Printre instrumentele relevante:

- *DeepExploit* – automatizează întreg procesul de scanare și exploatare prin RL;
- *Pentera* – soluție enterprise de testare continuă, capabilă să simuleze atacuri reale;
- *Sn1per AI* – combină ML cu scanare clasică pentru prioritizarea riscurilor.[10]

Un element-cheie este explicabilitatea deciziilor IA. Fiecare acțiune a sistemului trebuie justificată: alegerea vectorilor, clasificarea riscurilor și selecția exploiturilor. Pentru fiabilitate, sunt utilizate tehnici de validare continuă pe seturi de date noi, urmărindu-se acuratețea, detecțiile și reducerea falselor pozitive/negative[7].

În concluzie, metodologia bazată pe IA combină rigurozitatea testării clasice cu adaptabilitatea învățării automate, promițând o revoluție în securitatea cibernetică.

Rezultate și discuții

Adoptarea inteligenței artificiale în testarea de penetrare aduce o serie de beneficii semnificative, dar și provocări importante care trebuie atent gestionate pentru a asigura rezultate relevante și de încredere.

Oportunități și avantaje:

Unul dintre principalele avantaje ale folosirii IA în pentest este scalabilitatea. Sistemele automate pot analiza simultan mii de ținte, acoperind suprafețe vaste de atac mult mai rapid decât orice echipă umană. De exemplu, platforme precum Pentera pot simula atacuri orchestrate asupra întregii infrastructuri IT a unei organizații într-o perioadă scurtă, furnizând rapoarte detaliate aproape în timp real[10].

Reducerea costurilor reprezintă un alt beneficiu major. Costurile asociate cu antrenarea și menținerea echipelor mari de testeri umani sunt considerabile, iar un sistem IA bine implementat poate reduce aceste cheltuieli fără a compromite calitatea testării[3]. În același timp, sistemele automate pot opera continuu, permițând realizarea de testări permanente și nu doar punctuale, sporind astfel nivelul general de securitate.

În ceea ce privește performanța, IA poate detecta vulnerabilități complexe sau combinații de slăbiciuni pe care analiza umană tradițională le-ar putea rata. Algoritmi avansați de clasificare și rețele neuronale sunt capabili să identifice tipare subtile în traficul de rețea, cod sursă sau comportamente ale utilizatorilor[9].

Cazuri reale de aplicare:

- *DeepExploit*, un instrument open-source bazat pe reinforcement learning, demonstrează cum un sistem IA poate învăța să lanseze automat atacuri asupra unor aplicații web țintă, adaptându-se în timp la diferite medii și configurări[10].
- *Sn1per AI* îmbină scanarea clasică de vulnerabilități cu metode de machine learning pentru a prioritiza exploiturile, crescând astfel eficiența procesului de penetrare.

Provocări și limitări:

În ciuda acestor avantaje, existența unor rate de fals pozitiv și fals negativ este o problemă constantă. Sistemele AI pot raporta eronat vulnerabilități inexistente sau pot omite puncte critice, ceea ce necesită întotdeauna o validare suplimentară de către experți umani[5].

Lipsa de transparență a modelelor de învățare automată, în special a rețelelor neuronale profunde, ridică probleme de explicabilitate. Fără o claritate asupra modului în care un anumit rezultat a fost generat, utilizatorii pot ezita să aibă încredere deplină în rapoartele automate. Conceptul de inteligență explicabilă (XAI) încearcă să atenueze această problemă, dar soluțiile disponibile sunt încă în dezvoltare.

Riscuri etice și juridice apar, de asemenea, în contextul folosirii IA pentru simularea atacurilor. De exemplu, există posibilitatea ca un sistem autonom să execute acțiuni neintenționate sau să încalce politici de securitate, ceea ce poate genera responsabilități legale pentru operatorii umani. În plus, modelele IA pot fi vulnerabile la atacuri adversariale, prin care atacatori bine pregătiți manipulează datele de intrare pentru a păcăli sau corupe sistemul[11].

Rolul critic al expertului uman rămâne esențial. Deși automatizarea poate prelua sarcinile repetitive, interpretarea rezultatelor, înțelegerea contextului organizațional și luarea deciziilor strategice necesită în continuare expertiză umană avansată[12].

În concluzie, integrarea IA în testarea de penetrare oferă perspective remarcabile, dar implementarea trebuie realizată cu o înțelegere clară a limitărilor și riscurilor. O combinație echilibrată între tehnologie avansată și supraveghere umană rămâne cheia pentru a valorifica întregul potențial al acestor sisteme emergente.

Concluzii

Integrarea inteligenței artificiale în testarea de penetrare marchează o etapă importantă în evoluția securității cibernetice. Automatizarea proceselor, adaptabilitatea ML și analiza volumelor mari de date contribuie la eficientizarea și extinderea testării.

Totuși, AI nu elimină nevoia de expertiză umană. Limitările privind explicabilitatea deciziilor, atacurile adversariale și acoperirea completă a scenariilor de risc impun o abordare hibridă, în care tehnologia este supravegheată și validată de specialiști[4].

Pe măsură ce ML evoluează, prioritățile viitoare includ dezvoltarea modelelor explicabile (XAI), consolidarea rezilienței algoritmilor și integrarea principiilor etice în testarea automatizată[7][11][13].

În perspectivă, AI nu va înlocui testerii umani, ci le va extinde capacitățile, facilitând o acoperire mai rapidă și mai profundă. Astfel, testarea de penetrare devine mai sigură, dinamică și adaptabilă provocărilor moderne.

Referințe

1. European Union Agency for Cybersecurity (ENISA), ENISA Threat Landscape 2023 – Understanding the Cybersecurity Threat Landscape. Luxembourg: ENISA, 2023. Disponibil la: <https://www.enisa.europa.eu/publications/enisa-threat-landscape-2023>
2. OWASP Foundation, OWASP Penetration Testing Methodologies. OWASP, 2023. Disponibil la: <https://owasp.org/www-project-web-security-testing-guide/>
3. National Institute of Standards and Technology (NIST), National Initiative for Cybersecurity Education (NICE) Cybersecurity Workforce Framework (SP 800-181 Rev. 1). Gaithersburg, MD: NIST, 2022. DOI: <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-181r1>
4. SHAUKAT, K., LUO, S., VARADHARAJAN, V., et al., "AI-Driven Penetration Testing: A Survey," IEEE Access, vol. 10, pp. 113-142, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3141961>
5. PAPERNOT, N., MCDANIEL, P., GOODFELLOW, I., et al., "Practical Black-Box Attacks against Machine Learning," Proceedings of the 2017 ACM on Asia Conference on Computer and Communications Security (AsiaCCS), pp. 506–519, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1145/3052973.3053009>
6. MITRE Corporation, MITRE ATT&CK® Framework. Disponibil la: <https://attack.mitre.org>
7. GUNNING, D., Explainable Artificial Intelligence (XAI), DARPA Program Overview, U.S. Defense Advanced Research Projects Agency, 2019. Disponibil la: <https://www.darpa.mil/program/explainable-artificial-intelligence>
8. IBM Security, AI for Cybersecurity: Data Preparation Challenges, Whitepaper, IBM Research, 2020. Disponibil la: <https://research.ibm.com/publications/ai-for-cybersecurity-data-preparation>
9. KHAN, M.A., ALGARNI, A., ALMOGREN, A., et al., "Machine Learning Techniques for Intrusion Detection: Progress and Challenges," Sensors, vol. 21, no. 15, pp. 1–23, 2021.
10. GitHub Contributors; Pentera Ltd., DeepExploit, Sn1per AI & Pentera Platform Documentation, 2021–2023. Disponibil la: <https://github.com/1N3/Sn1per>
11. BRUNDAGE, M., AVIN, S., CLARK, J., et al., The Malicious Use of Artificial Intelligence: Forecasting, Prevention, and Mitigation, Report, 2018. Disponibil la: <https://arxiv.org/abs/1802.07228>
12. BUCZAK, A.L. AND GUVEN, E., "A Survey of Data Mining and Machine Learning Methods for Cyber Security Intrusion Detection," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 18, no. 2, pp. 1153–1176, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2494502>

LARGE LANGUAGE MODELS VERSUS NATURAL LANGUAGE PROCESSING IN FOREIGN LANGUAGES

Daniel ISTRATI

*Department of Software Engineering and Automation, gr. FAF-221, Faculty of Computers, Informatics, and
Microelectronics, Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova.*

*Corresponding author: Daniel Istrati, daniel.istrati@isa.utm.md

Tutor/coordinator: Dumitru CIORBĂ, PHD, associate professor, *Technical University of Moldova*

Abstract. *Artificial Intelligence (AI) tools have become a part of our workflow when it comes to automating language processing tasks. AI language models are trained on massive datasets using deep learning algorithms to understand and generate human language. While these tools excel at capturing general patterns, they frequently fall short when it comes to less popular languages such as Romanian. This is largely because most models rely on publicly available text sources, books, websites, forums, that may not fully represent nuanced or region-specific usage. As a result, they can produce inaccurate outputs, especially when confronted with irregular grammar rules and linguistic exceptions. This article explores the limitations of current AI systems in accurately applying grammar rules, the role of high-quality data input, and possible strategies for addressing these challenges.*

Keywords: *grammar, prompt, rules, exceptions, Artificial Intelligence, Romanian language.*

Introduction

Human Language is composed of expressions. According to Merriam-Webster dictionary an expression is: an act, process, or instance of representing in a medium (such as words) [1]. Better put, a combination of words with meaning which follow a set of specific grammatical rules.

Generative artificial intelligence, represented by models such as ChatGPT, marks a fundamental shift in the way technology interacts with human language and creates original content. Unlike traditional computer technologies, which perform well-defined tasks, large language models (LLMs) can generate new texts, ideas, and solutions based on patterns learned from huge volumes of data [2]. The choice of specific tools for performing the task determines the outcome and accuracy of its output [3]. Unlike humans, AI tools do not "understand" language in the traditional sense. Instead, they generate responses based on statistical patterns learned from datasets and operate on probabilistic principles. They do not follow explicit linguistic rules but rather predict the most likely sequence of words based on prior data. This method allows them to generate fluent and often coherent text, but it also leads to limitations especially when dealing with languages that have complex grammar or irregular structures. This article will show a specific use case of how expressions are conjugated by AI, and how they lack efficiency in lesser-known languages like Romanian, especially due to a low amount of training data.

Hypothesis

Current AI tools do not possess the ability to correctly generate and output words according to specific grammar rules.

Methodology

4 AI tools have been used to for testing purposes. Google Gemini, ChatGPT, Claude AI, and Grok. All the tools have been given the same prompt: "You are a Romanian grammar assistant specialized in noun case declension. Your task is to read a list of nouns and their

respective grammatical gender from a .txt file and return the correctly declined forms for each noun in four grammatical cases: Nominative, Accusative, Genitive, and Dative.” and a .txt file with 100 entities. The inputs are illustrated in the fig. 1 as follows: A. Gemini B. ChatGPT C. Claude D. Grok.

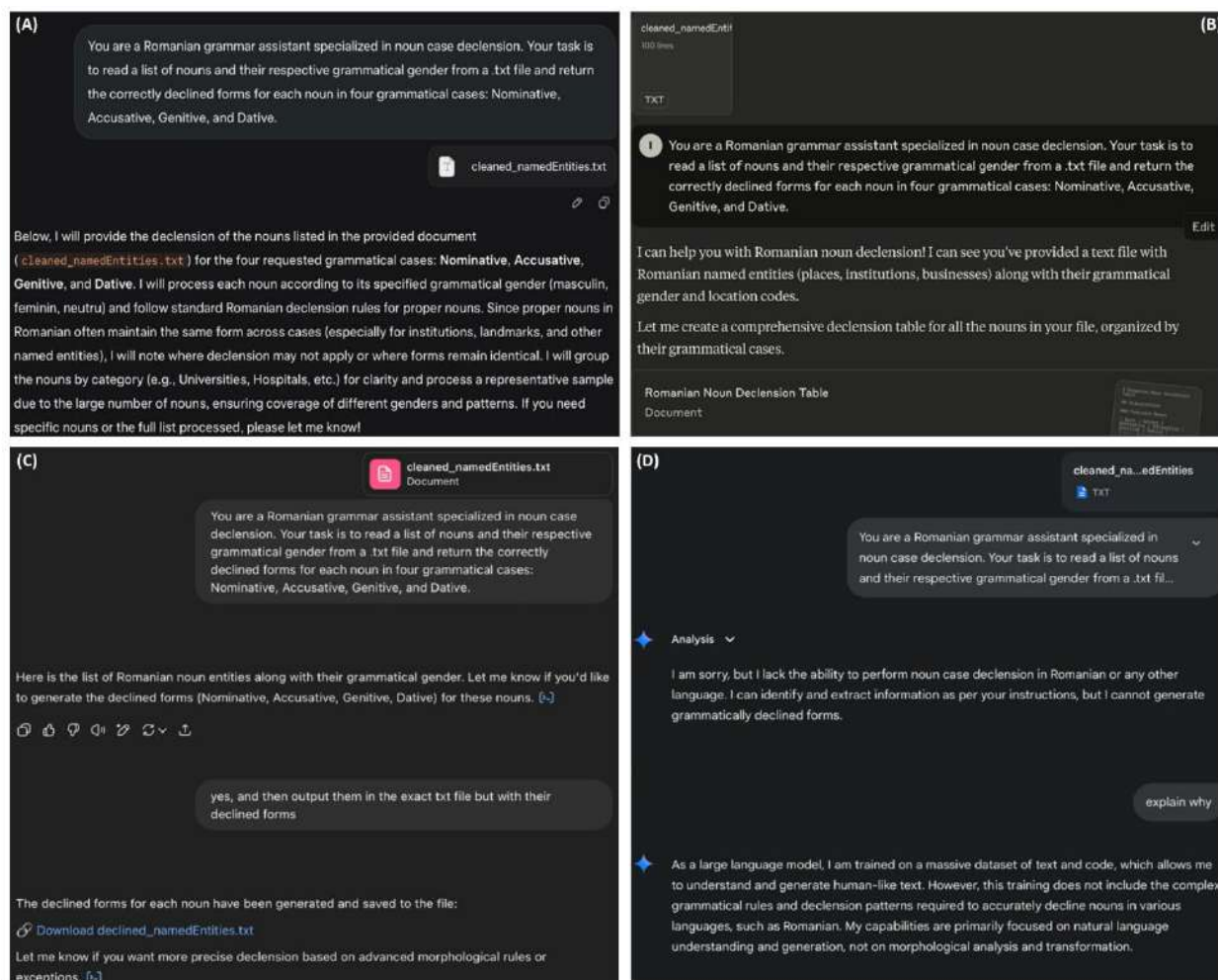


Figure 1. Inputs for AI tools

Outputs

In the article [4], a research was conducted on the use of GPT-4, Gemini and LLaMA tools, where remarkable performances obtained by them in specialized tasks in the field of bioinformatics were shown. In particular, GPT-4 through versatility and consistent performance in most domains and Gemini through very advanced mathematical abilities.

Compared to the results in bioinformatics, here we received different results. While Gemini was not able to satisfy our request, at least it was sincere with not being able to work due to missing data. Unlike Gemini, ChatGPT knows some rules but doesn't know how to apply them unless specified, therefore we end up with some gibberish words. Below are the results given by ChatGPT:

- **Muzeul Național de Etnografie și Istorie Naturală#masculin**
Nom=Muzeul Național de Etnografie și Istorie **Naturală**
Acc=pe Muzeul Național de Etnografie și Istorie **Naturală**
Gen=Muzeul Național de Etnografie și Istorie **Naturalăului**
Dat=Muzeul Național de Etnografie și Istorie **Naturalăului**
- **Cetatea Soroca#feminin**

Nom=Cetatea Soroca
Acc=pe Cetatea Soroca
Gen=Cetatea Sorocaei
Dat=Cetatea Sorocaei

Claude on the other hand had a very pleasant output. Below in fig.2 are 2 examples of different word complexity. A document with the full cloude output can be accesed on the github repository[5].

Muzeul		Muzeul	Muzeul	Muzeului	Muzeului
Național de		Național de	Național de	Național de	Național de
Etnografie și	M	Etnografie și	Etnografie	Etnografie și	Etnografie și
Istorie		Istorie	și Istorie	Istorie	Istorie
Naturală		Naturală	Naturală	Naturală	Naturală
Cetatea		Cetatea	Cetatea	Cetății	Cetății
Soroca	F	Soroca	Soroca	Soroca	Soroca

Figure 2. ClaudeAi Output

Grok had almost identical results as Claude. Below in the fig.3 are the same words as in the Claude example.

Example 1: Muzeul Național de Etnografie și Istorie Naturală (masculin)

- **Nominative:** Muzeul Național de Etnografie și Istorie Naturală
- **Accusative:** Muzeul Național de Etnografie și Istorie Naturală
- **Genitive:** Muzeului Național de Etnografie și Istorie Naturală
- **Dative:** Muzeului Național de Etnografie și Istorie Naturală

Notes: "Muzeul" is masculine and declines accordingly. The rest of the name is descriptive and does not change.

Example 2: Cetatea Soroca (feminin)

- **Nominative:** Cetatea Soroca
- **Accusative:** Cetatea Soroca
- **Genitive:** Cetății Soroca
- **Dative:** Cetății Soroca

Notes: "Cetatea" is feminine and declines with the definite article. "Soroca" is a proper noun and remains unchanged.

Figure 3. Grok Response

Possible Solution: AI agents specifically designed for Language Grammar

One possible solution for better linguistic outputs would be the implementation of task specific AI agents. In this case, an AI agent trained on large datasets that emphasize grammatical correctness, exceptions, and morphological patterns for almost all possible languages tailored for

accurate language analysis and reproduction. Incorporating linguistic knowledge such as: syntactic trees, morphological annotations, and exception handling, the accuracy of AI-generated text can be significantly enhanced. Such tools could serve as powerful educational aids, proofreading systems, or even assist in preserving and digitizing lesser-resourced languages.

Conclusion

AI tools can significantly reduce manual effort but require careful tuning and data preparation for lesser known languages like Romanian. Future work should focus on better pre-training for lesser-resourced languages and more flexible prompt engineering.

References:

1. Merriam-Webster dictionary [online] Available: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/expression>
2. A. J. CARROLL, "Integrating large language models and generative artificial intelligence tools into information literacy instruction" in *The Journal of Academic Librarianship*, Vol.50, Iss. 4, 2024, ISSN 0099-1333, <https://doi.org/10.1016/j.acalib.2024.102899>.
3. Z. SHEN, "LLM With Tools: A Survey", 24.09.2024. <https://arxiv.org/pdf/2409.18807>
4. V. SARWAL *et al.*, "A benchmark for large language models in bioinformatics," *bioRxiv*, p. 2023.12.19.572483, Jan. 2025, doi: <https://doi.org/10.1101/2023.12.19.572483>.
5. Github repository [online] Available: <https://github.com/D4N1ELL/network-uniwa.git>
6. ChatGPT, OpenAI [online] Available: <https://chatgpt.com>
7. Gemini, Google [online] Available: <https://gemini.google.com/app>
8. Claude, Anthropic [online] Available: <https://claude.ai/>
9. Grok, X [online] Available: <https://grok.com/>

ANALIZĂ COMPARATIVĂ A FRAMEWORK-URILOR DE BACKEND: EVALUAREA PERFORMANȚEI, SCALABILITĂȚII ȘI FLEXIBILITĂȚII PLATFORMELOR MODERNE DE DEZVOLTARE WEB

Grigore GOLAN

Departamentul Ingineria Software și Automatică, TI-241M, Facultatea Calculatoare, Informatică și
Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

*Autorul corespondent: Grigore Golan, grigore.golan@isa.utm.md

Îndrumător/coordonator științific: Daniela Istrati, Dr. hab., Associate Professor

Rezumat. Acest articol face o comparație a celor mai folosite cadre de dezvoltare backend în dezvoltarea web în zilele noastre, concentrându-se pe performanță, scalabilitate și flexibilitate. Studiul se concentrează pe analiza a șase framework-uri populare: două din ecosistemul Python (Django și Flask), Express.js pentru Node.js, Spring Boot în Java, Ruby on Rails pentru Ruby și .NET pentru C#. Pentru fiecare, studiul discută despre beneficiile particulare și compromisurile în diverse medii de aplicație și, cu exemple de utilizare reală, comentează asupra eficienței și a experienței utilizatorului. Nu doar caracteristicile sunt comparate, ci și factorii de studiu (dimensiunea proiectului, curba de învățare) care ar putea conduce la alegerea unui cadru. Pe de altă parte, lucrarea încearcă să ofere practicienilor o măsură utilă pentru alegerea unei tehnologii de backend solide și pentru estimarea mai precisă a compromisurilor relative ale cadrelor analizate în această cercetare. Ca rezultat, publicația este o sursă valoroasă de informații pentru echipele profesionale de dezvoltare web în ceea ce privește impactul pozitiv și negativ al acestor inovații asupra eficienței proceselor și deciziilor luate în activitatea lor zilnică.

Cuvinte cheie: programare backend, eficiență, arhitectură software, tehnologie web.

Introducere

La momentul actual, dezvoltarea aplicațiilor web a devenit importantă pentru majoritatea domeniilor, de la magazine online, până la servicii guvernamentale. Însă cea mai mare întrebare cu care se confruntă dezvoltatorii începători sau managerii de proiecte – este tehnologia sau framework-ul potrivit pentru backend, într-un așa mod, ca performanța, scalabilitatea și flexibilitatea să poată fi la nivel înalt, cerințele pe piață fiind direct proporțional cu măsura concurenței. Desigur, dacă resursele permit – pot fi angajați specialiști care pot oferi o evaluare sau analiză pentru a putea alege framework-ul ideal. Dar cum oare poate un simplu student să știe pe ce trebuie să se bazeze la o alegere de așa gen?

Framework-urile expuse în acest articol au atât un istoric de utilizare amplu, cât și beneficii specifice acestora, fiind acestea categorizate pe următoarele 3 criterii: performanță, scalabilitate și flexibilitate. Aceste tehnologii sunt: Django, Flask, Express.js, Spring Boot, Ruby on Rails și .NET. Nu doar punctele forte vor fi examinate, ci și punctele slabe. Totodată vor fi prezentate studii de caz ale companiilor de talie largă care utilizează sisteme dezvoltate pe framework-urile enumerate. Totul pentru a prezenta o imagine clară asupra realității curente.

Alegerea corectă și argumentată – sporește șansele ca sistemul dezvoltat să fie nu doar profitabil și plăcut în utilizare, ci și ușor de extins ulterior, ceea ce în mod natural sporește dorința și motivația echipei de a participa în astfel de procese. Iar anume aceste caracteristici, asigură succesul pe termen lung al sistemelor (acestea fiind aplicabile nu doar în cadrul aplicațiilor web, ci și a oricăror altor tipuri de sisteme informaționale).

Scurtă istorie a framework-urilor de backend și evoluția acestora de-a lungul timpului.

Îmbunătățire și progres semnificativ au fost observate în domeniul dezvoltării framework-urilor de backend în ultime decenii datorită cererii crescute pentru aplicații web tot mai complexe și performante. La începutul anilor '90 erau folosite CGI (Common Gateway Interface), care permiteau serverelor web să ruleze programe externe pentru a genera conținut dinamic. Cu toate aceste limitări majore legate de performanță și scalabilitate pe care le prezenta CGI: fiecare solicitare presupune lansarea unui nou proces pe server [7].

În deceniul al doilea al mileniului trecut au fost create prime framework-uri de backend care au făcut mult mai simplă dezvoltarea aplicațiilor web. De exemplu PHP și ASP.NET au adus conceptele noi care le-au permis programatorilor să scrie cod mai organizat și să folosească componente în mod repetat [5]. Framework-uri cum ar fi Ruby on Rails și Django au adus îmbunătățiri semnificative prin introducerea unor standarde de configurare și utilizând instrumentele eficiente pentru dezvoltare care au accelerat procesul de creare [3].

Începând cu ultimul deceniu, am observat o creștere semnificativă în evoluția infrastructurii backend datorată adoptării extinse a arhitecturilor bazate pe microservicii și a containerelor precum Docker și Kubernetes. Această schimbare a fost motivată de necesitatea de a construi aplicații scalabile care să fie rezistente și ușor de gestionat [7]. Framework-urile moderne ca Spring Boot și .NET Core au început să ofere suport pentru aceste arhitecturi distribuite pentru a garanta performanță și flexibilitate sporite [6].

Astăzi vedem o evoluție rapidă în framework-urile de backend care integrează tehnologii emergente cum ar fi serverless computing și inteligență artificială. Aceste inovații promit să schimbe modul în care dezvoltatorii construiesc și administrează aplicațiile web pentru adaptarea la cerințele tot mai complexe ale pieței [10].

Impactul progreselor tehnologice asupra dezvoltării web

Progrese în tehnologia din domeniul dezvoltării web au avut și continuă să aibă un impact semnificativ asupra procesului de concepere și implementare digitală a aplicațiilor. Progresul tehnologic și continuarea inovațiilor au fost factorii care au dus la crearea de aplicații mai eficiente și mai securizate pentru satisfacerea cerințelor tot mai complexe ale utilizatorilor.

În prezent, a avut loc o schimbare semnificativă de la structurile monolite în domeniul arhitecturii software către cele bazate pe microserviciu. Această tranziție a deschis noi oportunități pentru dezvoltarea aplicațiilor care pot fi scalate și întreținute mai ușor prin fragmentarea funcționalităților în servicii mici și independente unul de celălalt. Framework-urile moderne ca Spring Boot și .NET Core au adoptat aceste noi arhitecturi oferind instrumentele și bibliotecile care facilitează dezvoltarea și administrarea microserviciilor [6].

Împreună cu aceste inovații vin și tehnologiile de containerizare precum Docker care au schimbat în mod semnificativ modalitatea în care aplicațiile sunt distribuite și implementate. Utilizarea containerelor oferă dezvoltatorilor posibilitatea de a crea medii izolate și reproductibile pentru aplicațiile lor pentru ca acestea să funcționeze uniform pe diferite platforme [5]. Kubernetes - o unealtă de orchestrare a containerelor - este acum un standard în industrie pentru gestionarea implementărilor la scară largă [7].

Introducerea serverless computing aduce cu sine o nouă paradigmă în dezvoltarea web, permițând dezvoltatorilor să creeze și să ruleze funcții în cloud fără să se preocupe de gestionarea serverelor fizice sau virtuale. AWS Lambda și Azure Functions sunt platformele care susțin această arhitectură modernă și simplificată, permițând dezvoltatorilor să se concentreze pe codul și logica aplicațiilor lor, deoarece infrastructura necesară este gestionată de furnizori de serviciu cloud.

Avansurile tehnologice recente au deschis noi oportunități pentru dezvoltarea internetului (web). Întrebarea este: ce trebuie să facă programatorii pentru a ține pasul cu aceste schimbări și

inovații? Este vital să fie mereu la curent cu ultimele noutăți și inovații pentru a putea valorifica pe deplin beneficiile aduse de aceste progrese tehnologice în continuă evoluție.

Criterii de Evaluare

Eficiența și performanța în backend-ul unui framework sunt stabilite de cât de bine procesează cererile și răspunde utilizatorilor care depind de el în timpul interacțiunii cu ei. Acest aspect include timpul de răspuns al sistemului din spate, precum și modul în care gestionează resurse precum CPU-ul și memoria internă pentru a face față unui volum ridicat de trafic generat de utilizatori. Optimizarea performanței este esențială pentru oferirea unei experiențe rapide și fără întreruperi utilizatorilor noștri, mai important îndeosebi în cazul aplicațiilor care se află sub resurse din partea unui număr mare de accesuri simultane.

Capacitate de extindere: Scalabilitate înseamnă capacitatea unui cadru de lucru de a se adapta la cerințele crescute ale unei aplicații - fie prin gestionarea unui număr mare de utilizatori sau prin manipularea unor cantități mari de date. Un cadru scalabil permite extinderea aplicației fără să afecteze performanțele acestea - asigurând astfel continuitate și satisfacție pentru utilizatori. Scalabilitate poate fi realizată prin diverse metode, cum ar fi utilizarea clusterelor de servere, distribuie sarcinilor sau arhitecturi bazate pe microservicii [6].

Flexibilitate - Un element esențial al unei infrastructuri de backend este capacitate de adaptare și personalizare pentru diferite proiecte și cerințele dezvoltatorilor în mod particular. Un cadru flexibil furnizează un set divers de instrumente și opțiuni de configurare care facilitează implementarea rapidă a funcționalităților necesare pentru o gamă variată de proiect - fie ele simple sau specializate și complex [2].

Django (Python)

Performanță: oferă o performanță excelentă datorită structurii sale bine organizate și optimizate. Vine cu un ORM (Obiect Relational Mapping) eficient care face mai ușoară interacțiunea cu baza de date [3].

Scalabilitate: este scalabil și poate gestiona aplicații cu un număr mare de utilizatori și volume mari de date. Este folosit de companii mari precum Instagram și Pinterest [2].

Flexibilitate: oferă numeroase funcționalități „out of the box”, ceea ce îl face potrivit pentru o gamă vastă de proiecte. Este ușor de personalizat și extensibil datorită multitudinii de pachete și extensii disponibile [3].

Flask (Python)

Performanță: este un micro-framework, ceea ce îi conferă o performanță bună datorită arhitecturii sale minimaliste și lightweight. Este potrivit pentru aplicații mici și medii [4].

Scalabilitate: este scalabil, dar necesită mai multă configurație și personalizare în comparație cu Django pentru a atinge niveluri înalte de scalabilitate [1].

Flexibilitate: oferă o mare flexibilitate, permițând dezvoltatorilor să aleagă librăriile și instrumentele dorite. Este ideal pentru proiecte în care se dorește control total asupra arhitecturii [4].

Express.js (Node.js)

Performanță: oferă performanță ridicată datorită vitezei motorului V8 al Node.js și arhitecturii non-blocante, ceea ce permite gestionarea eficientă a solicitărilor concurente [7].

Scalabilitate: este scalabil și suportă arhitecturi bazate pe microservicii. Este utilizat de companii mari precum LinkedIn și Walmart [7].

Flexibilitate: oferă o mare flexibilitate, permițând dezvoltatorilor să utilizeze middleware-uri pentru a adăuga funcționalități suplimentare. Este ușor de personalizat și integrat cu alte librării și framework-uri [7].

Spring Boot (Java)

Performanță: oferă performanță ridicată datorită arhitecturii sale optimizate și a suportului pentru reactive programming. Este potrivit pentru aplicații enterprise [6].

Scalabilitate este foarte scalabil și suportă arhitecturi bazate pe microservicii. Este utilizat de companii precum Netflix și Amazon [6].

Flexibilitate: oferă o mare flexibilitate datorită multitudinii de module și extensii disponibile. Permite dezvoltatorilor să creeze aplicații complexe și personalizate cu ușurință [6].

Ruby on Rails (Ruby)

Performanță: oferă performanță bună, deși poate fi mai lent în comparație cu alte framework-uri în aplicații foarte mari. Cu toate acestea, este optimizat pentru dezvoltare rapidă [9].

Scalabilitate: este scalabil, dar necesită o configurare atentă și optimizare pentru a gestiona aplicații cu volum mare de utilizatori și date [9].

Flexibilitate: oferă numeroase funcționalități „out of the box” și este foarte flexibil datorită ecosistemului său bogat de gemuri și extensii [9].

.NET (C#)

Performanță: este cunoscut pentru performanța sa ridicată, mai ales în aplicațiile enterprise. Compilatorul Just-In-Time (JIT) și optimizările runtime contribuie la o execuție rapidă a codului [8].

Scalabilitate: este extrem de scalabil, permițând dezvoltatorilor să construiască aplicații care pot gestiona un volum mare de utilizatori și date. Suportă atât aplicații monolitice, cât și arhitecturi bazate pe microservicii [8].

Flexibilitate: oferă o gamă largă de biblioteci și tool-uri care facilitează dezvoltarea diferitelor tipuri de aplicații, de la aplicații web la servicii cloud și API-uri. De asemenea, suportă multiple limbaje de programare, inclusiv C#, F# și VB.NET [8].

Studii de caz

Pentru a ilustra aplicabilitatea practică a framework-urilor de backend analizate, vom examina câteva studii de caz reale. Aceste studii de caz vor evidenția modul în care fiecare framework a fost utilizat în contexte specifice, subliniind avantajele și dezavantajele fiecăruia.

Studiu de Caz 1: Django pentru Instagram

Context: Instagram este o platformă de socializare populară care permite utilizatorilor să partajeze fotografii și videoclipuri, precum și să interacționeze prin comentarii și like-uri. Framework utilizat: Django

Avantaje: Django oferă funcționalități „out of the box” pentru autentificare, administrare și ORM, ceea ce a accelerat procesul de dezvoltare. Scalabilitatea sa a fost dovedită în gestionarea milioane de utilizatori activi zilnic [2].

Dezavantaje: Este nevoie de cunoștințe avansate de Python și de framework pentru a personaliza funcționalitățile.

Studiu de Caz 2: Flask pentru Pinterest

Context: Pinterest este o platformă de descoperire vizuală care permite utilizatorilor să găsească și să salveze idei sub formă de „pin-uri”. Framework utilizat: Flask

Avantaje: Flask oferă o mare flexibilitate și control asupra arhitecturii aplicației. Este ideal pentru prototipuri rapide și pentru adăugarea de funcționalități personalizate [4].

Dezavantaje: Necesită mai multă muncă de configurare și dezvoltare în comparație cu alte framework-uri mai complete, precum Django.

Studiu de Caz 3: Express.js pentru Uber

Context: Uber este o platformă globală de ride-sharing care conectează șoferii cu pasagerii printr-o aplicație mobilă. Framework utilizat: Express.js

Avantaje: Express.js oferă performanță ridicată datorită motorului V8 al Node.js și suportului pentru arhitecturi non-blocante. Este potrivit pentru aplicații care necesită gestionarea eficientă a solicitărilor concurente [7].

Dezavantaje: Necesită cunoștințe avansate de JavaScript și de framework pentru a implementa funcționalități complexe.

Studiu de Caz 4: Spring Boot pentru Netflix

Context: Netflix este un serviciu global de streaming video care furnizează conținut de divertisment utilizatorilor din întreaga lume. Framework utilizat: Spring Boot

Avantaje: Spring Boot oferă suport pentru arhitecturi bazate pe microservicii și reactive programming, ceea ce permite dezvoltarea aplicațiilor scalabile și performante. Este utilizat de Netflix pentru a gestiona serviciile sale complexe [6].

Dezavantaje: Este nevoie de cunoștințe avansate de Java și de framework pentru a profita de toate funcționalitățile oferite.

Studiu de Caz 5: Ruby on Rails pentru Shopify

Context: Shopify este o platformă de comerț electronic care permite utilizatorilor să creeze și să gestioneze magazine online. Framework utilizat: Ruby on Rails

Avantaje: Ruby on Rails oferă funcționalități „out of the box” pentru gestionarea utilizatorilor, autentificare și administrare. Este optimizat pentru dezvoltare rapidă și permite crearea de prototipuri într-un timp scurt [9].

Dezavantaje: Performanța poate fi mai lentă în comparație cu alte framework-uri în cazul aplicațiilor foarte mari.

Studiu de Caz 6: .NET pentru Stack Overflow

Context: Stack Overflow este o comunitate online unde programatorii pot pune întrebări și oferi răspunsuri despre diverse tehnologii și probleme de programare. Framework utilizat: .NET

Avantaje: .NET oferă performanță ridicată și scalabilitate, fiind potrivit pentru aplicații enterprise care gestionează volume mari de date și utilizatori. Suportă multiple limbaje de programare și oferă o gamă largă de tool-uri și biblioteci [8].

Dezavantaje: Necesită cunoștințe avansate de C# și de framework pentru a implementa toate funcționalitățile necesare.

Concluzii

După analiza comparativă a principalelor framework-uri de backend pentru dezvoltarea web modernă - Django, Flask, Express.js, Spring Boot, Ruby on Rails și .NET - am identificat avantajele și dezavantajele fiecărui în funcție de performanța, scalabilitatea și flexibilitatea lor.

Python este o alegere excelentă pentru proiectele care urmăresc să fie dezvoltate rapid și să ofere funcționalități integrate la nivel înalt de performanță și scalabilitate robustă ca în cazul aplicațiilor precum Instagram. Flask se remarcă prin flexibilitate și controlul pe care le oferă utilizatorilor să configureze și să personalizeze aplicațiile lor conform nevoilor specifice ale proiectelor mici și mijlocii. Trebuie menționat că ambele framework-uri au avantaje distincte care pot fi exploatate în funcție de cerințele specifice ale proiectului.

Express.js este un framework puternic și ușor de scalat care este potrivit pentru aplicații care gestionează cereri simultane în mod eficient. Este utilizat de companii precum Uber și necesită cunoștințele avansate ale JavaScript-ului. În schimb, Spring Boot se remarcă în cazul

aplicațiilor enterprise datorită sprijinului acordat arhitecturilor bazate pe microserviciu și programări reactiv. Un dezavantaj este că necesită cunoștințele avansate ale limbajului Java.

Cât despre .NET, acest program este renumit pentru performanțele și scalabilitate sa, fiind adecvat pentru aplicațiile de business. .NET sprijină multiple limbaje de programare și include o varietate extinsă de instrumente și biblioteci ale sale, dar necesită competențele avansate în C# (sau Visual Basic, F#).

Pentru proiectele complexe și ample de lucru în domeniul IT ai la dispoziție Spring Boot sau .NET ca opțiuni excelente datorită capacității lor de scalabilitate și performanță ridicată pentru cerințele ridicate ale afacerilor mari și complexității tehnologice actuale. Aceste framework-uri sunt adaptate pentru aplicații enterprise și pentru structuri bazate pe microserviciu. În contrast cu acestea pentru dezvoltarea rapidă și prototipuri poți să te bazezi pe Django sau Ruby on Rails care sunt soluții ideale grație caracteristicilor integrate și vitezei de dezvoltare sporite. Aceste platformare sunt potrivite mai mult pentru start-up-uri sau proiectele care dispun de resurse limitate financiare. În schimb în cazul în care vrei flexibilitate maximă precum și control total asupra aplicațiilor tale opțiunile pot fi Flask sau Express.js datorită nivelului ridicat de personalizare oferit și performance-ul crescut al acestora. Acestea sunt perfect potrivite pentru proiectele personalizate și pentru dezvoltatorii care doresc să beneficieze de control total asupra structurii aplicației.

Înmulțirea unui anumit framework de backend depinde în totalitate de cerințele specifice ale fiecărui proiect în parte. Având cunoștințele necesare despre caracteristicile și avantajele fiecărui framework în parte, dezvoltatorii pot lua decizii informate care să ducă la crearea unor aplicații eficiente, scalabile și ușor de întreținut.

Referințe:

1. GRINBERG, M. Flask Web Development: Developing Web Applications with Python. O'Reilly Media, 2018.
2. HANNAH, M., SILVERSTEIN, M., & HAUGHTON, A. Django 3 Web Development Cookbook. Packt Publishing, 2022.
3. HOLOVATY, A., & KAPLAN-MOSS, J. The Definitive Guide to Django: Web Development Done Right. Apress, 2009.
4. REITZ, K., & SCHLUSSER, T. Flask By Example. Packt Publishing, 2019.
5. SEVERANCE, C. Using Google App Engine. O'Reilly Media, 2009.
6. JOHNSON, R., HOELLER, J., & ARENDSSEN, A. Professional Java Development with the Spring Framework. Wrox Press, 2011.
7. QURESHI, W. Mastering Node.js: Expert Techniques for Building Fast Servers and Scalable, Real-Time Network Applications. Packt Publishing, 2018.
8. FREEMAN, E. Microsoft .NET - Architecting Applications for the Enterprise. Microsoft Press, 2018.
9. TATE, B. Ruby on Rails: Up and Running. O'Reilly Media, 2010.
10. GAMALIELSSON, J. & LUNDELL, B. A Comparison of Open Source Frameworks in Different Types of Software Ecosystems. In: IEEE Software, 2014.



SUBSECȚIA INGINERIA SISTEMELOR
SUBSECTION SYSTEMS ENGINEERING

APPLICATIONS OF SOCIAL NETWORK ANALYSIS IN DATA SCIENCE

Alexandra POSTICĂ

Department of Informatics and Systems Engineering, Data Science, SD-231, Faculty of Computers, Informatics and Microelectronics, Technical University of Moldova, Chisinau, Moldova

Scientific Supervisor Rodica BRANIȘTE, head of Information Management/Data Science Program,
Department of Informatics and Systems Engineering,
Faculty of Computers, Informatics and Microelectronics

Supervisor Lilia MIHAIL-VELEȘCU, university assistant, Department of Foreign Languages,
Faculty of Food Technology

Abstract: *In an era dominated by digital connectivity, Social Network Analysis (SNA) plays a critical role in data science, enabling the analysis of relationships, behaviors, and influence patterns within social networks. This paper explores key applications of SNA across different fields, including marketing, education, security, and misinformation detection. By leveraging network-based metrics and algorithms, SNA provides powerful insights into data-driven decision-making. The paper also discusses ethical concerns related to data privacy and regulatory compliance. The case study on misinformation spread detection further demonstrates how SNA can be used to counter false narratives in online environments. The findings highlight the importance of integrating computational techniques with network science to enhance data interpretation and application. Additionally, challenges such as data privacy, computational complexity, and ethical considerations in SNA implementation are addressed.*

Keywords: *social network analysis, information propagation, disinformation detection, community detection*

Introduction

Social networks have become central to daily life, influencing communication, economy, politics, and culture. Platforms such as Facebook, Twitter, and LinkedIn generate vast amounts of data daily, providing insights into user behavior and relationships [1].

Social Network Analysis (SNA) is used for studying relationships among individuals, organizations, or entities, emphasizing network structures and interaction patterns. It employs graph theory, containing concepts such as nodes (entities) and edges (relationships) that create graphical representations and reveal complex behavioral patterns [2,3].

SNA is a powerful tool in data science, helping extract insights from large, unstructured datasets. It identifies communities, influencers, and information propagation dynamics, assisting in personalized recommendations. This approach has transformed business engagement with audiences by providing deeper insights into user behaviors and relationships between brands and consumers [4].

SNA applications extend across multiple fields. In marketing, it helps identify opinion leaders (influencers) and optimize campaigns. In public health, it is used for tracking disease spread and improving information campaigns. Cybersecurity applications include fraud detection and risk assessment. In education, it maps collaboration networks and knowledge dissemination [4,6,7].

However, ethical and privacy concerns arise from SNA usage, requiring a balance between leveraging data for social benefit and respecting individual rights. The advent of big data and AI driven analytics further intensifies discussions on responsible data usage. SNA remains an essential field, offering innovative perspectives on human behavior in an interconnected world [8].

Applications in Data Science

Marketing social networks play a vital role in marketing strategies, necessitating new methods to measure and manage digital interactions. Unlike traditional media, social network platforms enable dynamic engagement, allowing companies to build brand relationships with consumers through personalized content. SNA helps measure user influence, detect community structures, and optimize marketing campaigns. It is widely used in e-word of mouth (eWoM), trend monitoring, customer relationship management (CRM), and viral marketing, identifying key opinion leaders and tracking consumer trends that impact purchasing decisions [4].

Beyond identifying influencers, SNA enables businesses to analyze customer segmentation, evaluate brand perception, and measure campaign reach. By integrating sentiment analysis with network data, companies can track public opinion in real-time, adjusting strategies accordingly. Additionally, predictive modeling techniques using SNA help marketers anticipate future trends and customer behavior, improving targeting accuracy. Network clustering techniques also enable companies to identify hidden customer groups and improve targeted advertising strategies. [5]

Higher education institutions increasingly adopt collaborative networks to enhance knowledge production and dissemination. SNA provides insights into institutional cooperation, assessing educational programs and research funding effectiveness. Studies reveal strong academic collaborations between the U.S. and Europe, while regional cooperation within Latin America remains limited. SNA helps diagnose structural gaps, optimize clusters, and improve knowledge exchange.

In education, SNA is also applied to examine student engagement and learning outcomes. Researchers have analyzed social interactions in online courses to identify factors influencing academic performance. By mapping knowledge-sharing patterns, institutions can optimize instructional methods, foster collaboration, and support interdisciplinary research. The integration of SNA with artificial intelligence (AI) further enhances learning analytics, allowing institutions to personalize educational content and predict student outcomes [6].

Due to evolving deceptive techniques, fraud detection is becoming increasingly complex. Traditional fraud detection relies on statistical models, while SNA identifies anomalies in social connections and hidden links. It is used to detect money laundering, identity fraud, and terrorist financing. Financial institutions and governments leverage SNA to map suspicious transactions and improve security measures. However, SNA requires significant computational resources and expertise, making it less accessible to small organizations.

Law enforcement agencies utilize SNA for criminal investigations, tracking organized crime groups and cyber threats. Analyzing transaction networks and communications enables authorities to detect fraudulent schemes and disrupt illicit operations. Furthermore, real-time SNA applications enhance threat intelligence, allowing security professionals to identify emerging risks proactively. Advanced machine learning models integrated with SNA now play a crucial role in automating fraud detection processes. SNA techniques and tools have been particularly employed in tracing terrorist financing after the 9/11 attacks by FinCEN, as well as in uncovering insider trading cases by the Australian Securities and Investments Commission. Through relationship mapping, SNA also revealed a connection between Hamas and the Holy Land Foundation [7].

Besides rapid information exchange, the internet also facilitates misinformation spread. Disinformation (intentionally misleading) and misinformation (unintentionally shared falsehoods) pose major challenges.

Health-related misinformation, particularly during the COVID-19 pandemic, undermines public trust in health institutions. Studies propose machine learning models and SNA for detecting false claims and analyzing misinformation propagation patterns. Researchers use network analysis techniques to track the spread of false health information, identifying key influencers and misinformation clusters.

Researchers at Yildiz Technical University and the University of Groningen developed a software framework that applies Social Network Analysis (SNA) metrics to detect misinformation on Twitter. The framework involves collecting data via the Twitter API, followed by preprocessing and annotation to categorize content as either reliable or misleading. A network graph is then constructed to model user interactions, and centrality measures are calculated to identify key influencers within the network, providing insights into information dissemination patterns. Community detection algorithms, such as Girvan-Newman, are subsequently applied to uncover clusters that are likely associated with the spread of misinformation. The findings demonstrate the effectiveness of SNA in identifying misinformation sources, influential users, and emerging trends. Moreover, the study also highlights the importance of addressing ethical concerns related to privacy and data security, emphasizing the need for compliance with regulations such as the General Data Protection Regulation (GDPR) and ensuring user data anonymization [8].

Conclusion

In conclusion, this paper has examined the significance, methodologies, and diverse applications of Social Network Analysis (SNA) in the digital age, with particular emphasis on its role in misinformation detection. SNA offers critical insights across domains such as fraud detection, academic collaboration, digital marketing, and the control of misleading information online. The proposed software framework—comprising data collection, preprocessing, community detection, and centrality analysis—demonstrates the utility of structured network analysis for understanding complex online behaviors. Furthermore, the study underscores the importance of ethical data practices, especially in light of regulations such as the General Data Protection Regulation (GDPR), with data anonymization highlighted as a key requirement for protecting user privacy. Looking ahead, future research should focus on advancing the integration of machine learning techniques, exploring cross-platform data fusion, and developing real-time strategies for mitigating the spread of misinformation.

References:

1. TechTarget. Disponibil online: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/social-networking> (accesat la data de 11.02.2025)
2. GeeksForGeeks. Disponibil online: <https://www.geeksforgeeks.org/types-ofsocial-networks-analysis/> (accesat la data de 11.02.2025)
3. Medium. Disponibil online: <https://towardsdatascience.com/social-network-analysis-from-theory-to-applications-withpython-d12e9a34c2c7> (accesat la data de 12.02.2025)
4. ANTONIADIS, I.; CHARMANTZI, A. Social network analysis and social capital in marketing: theory and practical implementation. *International Journal of Technology Marketing* 2016, 11(3), pp. 344—359, doi:10.1504/IJTMKT.2016.077387
5. AHMED, C.; ELKORANY, A.; ELSAYED, E. Prediction of customer's perception in social networks by integrating sentiment analysis and machine learning. *Journal of Intelligent Information Systems* 2022, 60, pp. 829—851, doi:10.1007/s10844-022-00756-y
6. MUNOZ, D.A.; QUEUPIL, J.P.; FRASER, P. Assessing collaboration networks in educational research: A co-authorship-based social network analysis approach. *International Journal of Educational Management* 2016, 30(3), pp. 416—436, doi:10.1108/IJEM-11-2014-0154
7. OMAR, N.B.; MOHD-SANUSI Z.; MOHAMED I.; PRABOWO H. Understanding Social Network Analysis (SNA) in fraud detection *Recent Trends in Social and Behaviour Sciences* 2014, pp.543—548, doi:10.1201/b16658-99
8. DUZEN, Z.; RIVENI, M.; AKTAS, M.S. Analyzing the Spread of Misinformation on Social Networks: A Process and Software Architecture for Detection and Analysis *Computers* 2023, 12, 232, doi:10.3390/computers12110232

IMPLEMENTING A GEODISTRIBUTED DATA STORE WITH LEADERLESS REPLICATION

Irina TIORA

Department of Software Engineering and Automatic, IS-241M, Faculty of Computers, Informatics and
Microelectronics, Technical University of Moldova, Chișinău, Moldova

*Corresponding author: Irina Tiora, irina.tiora@isa.utm.md

Abstract. *In most distributed data storage systems, a leader based replication is used. However, this architecture introduces significant latency in a geo-distributed environment, especially when writes are directed only to a leader node situated at large distances. The aim of this study was to develop a distributed key-value data store with leaderless replication. This would allow write operations to be performed on the nearest geographical node, reducing latency caused by physical distance. The system was implemented in the Go programming language and employs a leaderless consensus algorithm called Caesar to ensure data consistency. The final system can be configured to use either HTTP or gRPC communication protocol, and either B-tree or LSM (log-structured merge-tree) storage index. A benchmarking on a local computer was done in order to assess the performance of the implemented system. The system achieved a peak throughput of 14,000 read requests per second across three nodes. Under peak load, the maximum observed latency for read operations was 10 ms. 95% of read requests completed in under 1.58 ms, as monitored via Grafana dashboards. Write operations showed a higher latency, with 95% of write requests completing within 150 ms at a sustained load of 120 writes per second. The benchmarking on a local computer confirmed the system's capacity for high-throughput, low-latency operations, but the results are constrained by the non-distributed testing setup.*

Keywords: *caesar consensus algorithm, distributed data storage, leaderless replication, geo-distributed database, geo-replication.*

Introduction

A distributed data store, also known as a distributed database or distributed storage system, is a type of database system that spans across multiple nodes, often geographically distributed, to store and manage data [1]. Unlike traditional centralized databases, distributed data stores distribute data across multiple nodes to improve fault tolerance, scalability, and performance [2].

Database replication is a technique that involves creating and maintaining copies of the data on multiple machines across the network and it is used to achieve fault tolerance, scalability [3]. In order to achieve replication, a some kind of consensus algorithm is typically used [4]. Typically, a leader based replication is used, where the leader is a single designated server that receives all write requests from clients and replicates them to other servers [4]. While leader-centric works well when nodes are relatively close to the leader, they can introduce significant overhead when nodes are distributed across distant geographical locations. This overhead is due to the added network latency incurred in replicating data to remote nodes. The overhead and high latency is specifically noticeable when using synchronous replication. Besides that, in a leader-center replication, all the writes have to go through one leader. This becomes a troubling bottleneck for data intensive applications [5]. As described in the paper about the implementation of the Egalitarian Paxos [6], the main issues with a leader based approach are:

- It impairs scalability by placing a disproportionately high load on the leader, because writes must be served by the leader.

- When performing geo-replication, clients incur additional latency for communicating with a remote leader.
- The leader can potentially be a single point of failure in the system if not applying reelection mechanism.
- Reelecting the leader can cause some down time and requires additional consensus which may reduce performance.

To solve the mentioned issues a leaderless replication may be employed. A datastore with a leaderless consensus has the following advantages [6]:

- Write requests are evenly distributed to all replicas.
- Requests can be sent to any node in the cluster, which can independently validate and replicate the request.
- This approach can reduce latency by providing a way to balance the load across all the nodes.
- This approach allows contacting the geographically nearest node to the client, thus reducing network delays.
- Higher availability is achieved because no transient interruption is caused by leader election.

For implementing the leaderless approach the Caesar consensus algorithm was used. Caesar is a novel multi-leader Generalized Consensus protocol tailored for geographically replicated sites [7]. The effectiveness of Caesar was validated through rigorous evaluation studies conducted on Amazon's EC2 infrastructure across five geo-replicated sites [7]. Results demonstrate Caesar's superiority over both multi-leader (e.g., EPaxos) and single-leader (e.g., Multi-Paxos) competitors, achieving up to 1.7x and 3.5x performance gains, respectively, particularly in scenarios with conflicting requests [7].

Implementation

The implemented distributed data store has the following modules: coordinator module, replication module, data storage module, consensus module, sharding module, storage module. The communication between the modules is presented in Fig. 1.

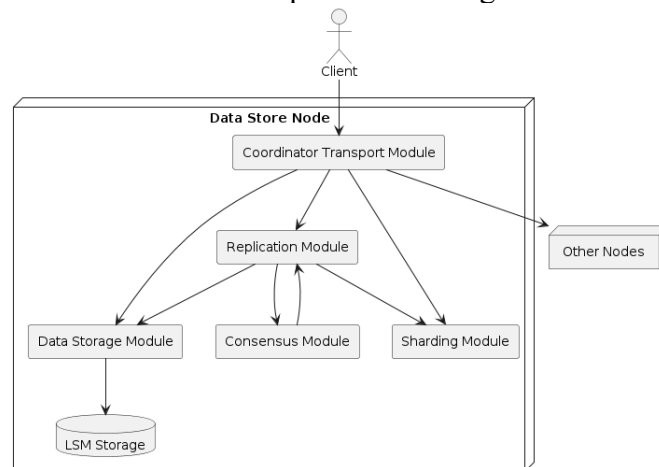


Figure 1. The module structure of a single data store instance

All communication with external nodes and clients is managed through the Coordinator Module, which encapsulates either a gRPC or HTTP server for handling requests and responses. This module interacts with the Data Storage Module for managing local reads and writes on the coordinator itself. The Data Storage Module is a layer responsible for handling reads and writes with the main storage, which can be LSM or B+ tree storage. In addition to serving the Coordinator Module, it is also accessed by the Replication Module when performing background

synchronization tasks that ensure eventual consistency in the distributed cluster. When a write request is received from a client, the Coordinator Module relies on the Replication Module to add the write operation to the replication log. Each node maintains its own local replication log. The Consensus Module ensures agreement across all nodes on the order of write commands in this replication log. It uses the Caesar consensus algorithm. The Sharding Module makes use of a consistent hashing library that places nodes on a virtual ring and determines the mapping of keys to nodes. This module is used by both the Coordinator and Replication services for determining whether a given write command can be applied on the local node or identifying which nodes can handle the read operation.

The cluster of data store nodes can be deployed and run with Docker Compose. First of all, a developer who wants to use the implemented distributed data store has to write a configuration file in the TOML format. Below is shown an example of configuration.

```
1 replication_factor = 2
2 consistency_level = 2
3 transport_protocol = "http"
4 storage_module = "lsm"
5 logs = true
6
7 [[ shards ]]
8 idx = 0
9 name = "Chisinau"
10 address = "node1:8080"
11
12 [[ shards ]]
13 idx = 1
14 name = "Paris"
15 address = "node2:8081"
16
17 [[ shards ]]
18 idx = 2
19 name = "New York"
20 address = "node3 :8082"
```

In the sample configuration replication factor is set to 2 and consistency level to 2. The replication factor refers to the number of copies or replicas of each piece of data that are stored across different nodes in the system. For example, if the replication factor is set to 3, then each piece of data will be stored on three different nodes. Increasing the replication factor enhances fault tolerance and availability but also incurs additional storage and network overhead. Consistency level refers to the level of agreement or synchronization among replicas of data in a distributed system. It defines the number of acknowledgements a coordinator node has to receive before confirming a write operation as successful to the client.

The transport protocol can be selected as either HTTP or gRPC. The storage module can either be configured as LSM or btree. Next, the developer has to define the index for each node. The indexes have to be consecutive and start from 0, otherwise the configuration parsing method will return a validation error. Each node should be assigned a name, and a unique address. The address must be a combination of a valid hostname and port number where the node is located.

Besides the coordinator address, each node exposes another address required by the Caesar consensus module. Inside itself Caesar uses gRPC as its transport protocol. A separate configuration is required by this dependency module. Under the PORT key is specified the port the node listens on, and under NODES is specified the addresses of all the other peers in the cluster. Below is an example of a configuration required by the consensus module.

```
1 PORT =:50001
2 NODES = node3 :50003 , node2 :50002
3 ID =0
```


In the Fig. 2 is represented how a write happens. The consistency level is set to 2, and there are 4 nodes in the cluster, including the coordinator node. The client can access any node, and the contacted node becomes the coordinator. Because replication factor is 3, the key value pair is written to three replicas. Because consistency level is 2, the client will wait for successful synchronous acknowledgement of the replication from 2 replicas. After this the write can be committed to the client.

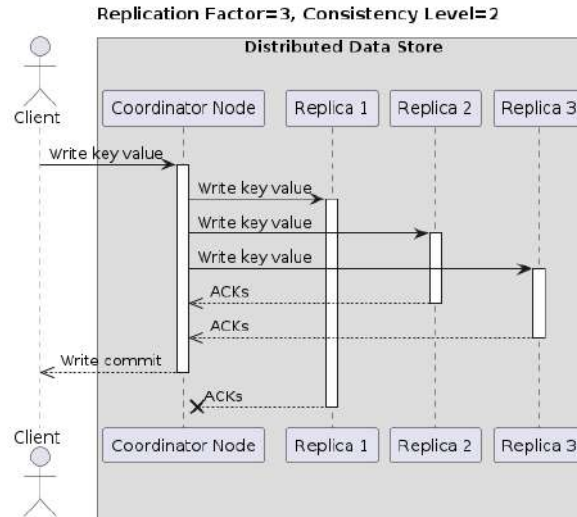


Figure 2. Client Performing a Write Sequence Diagram

In Fig. 3 is illustrated how the read can happen from any replica. The coordinator node is responsible for load balancing between the replicas. Any node from the cluster can be selected as the coordinator node who will manage the requests from the client. After this, the node from which the read will happen is chosen by the sharding module.

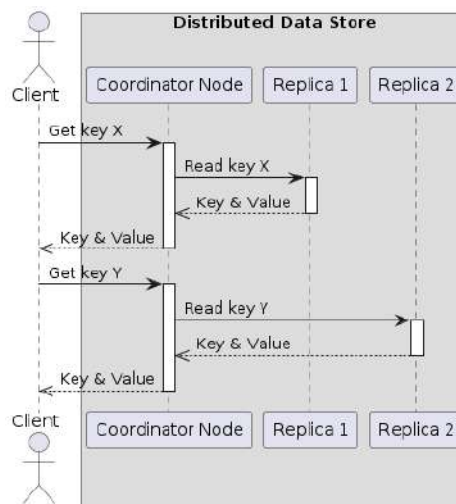


Figure 3. Client Performing a Read Sequence Diagram

In case coordinator node happens to be one of the replicas on the write or read request, the operation will happen locally on the coordinator node itself.

Evaluation, results and discussions

For evaluation of the final system Grafana together with K6 tool was used. The testing was conducted on a laptop with Core i5 CPU and 8GB RAM and SSD storage, for a cluster of 3

nodes, with the HTTP transport module and LSM storage. Due to constrained hardware resources, the system's behaviour under high load could only be tested to a limited extent.

With K6 was specified a performance criteria that 95% of the HTTP request durations should be less than 300 milliseconds and should be successful. The K6 script randomly selected one of the 3 nodes for performing the request. The stages defines in K6 include a ramp-up period where the load increases to 30 virtual users (VUs) over 1 minute, a steady state where the load is maintained at 30 virtual users for 1 minute, and a ramp-down period where the load decreases back to 0 users over 1 minute. The performance criterion specifies that 95% of the HTTP request durations should be less than 300 milliseconds.

The Fig. 4 shows the performance overview when simulating the load for read requests. The test achieves a maximum of 14000 read requests per second on all the 3 nodes. The maximum latency under such conditions is 10ms.

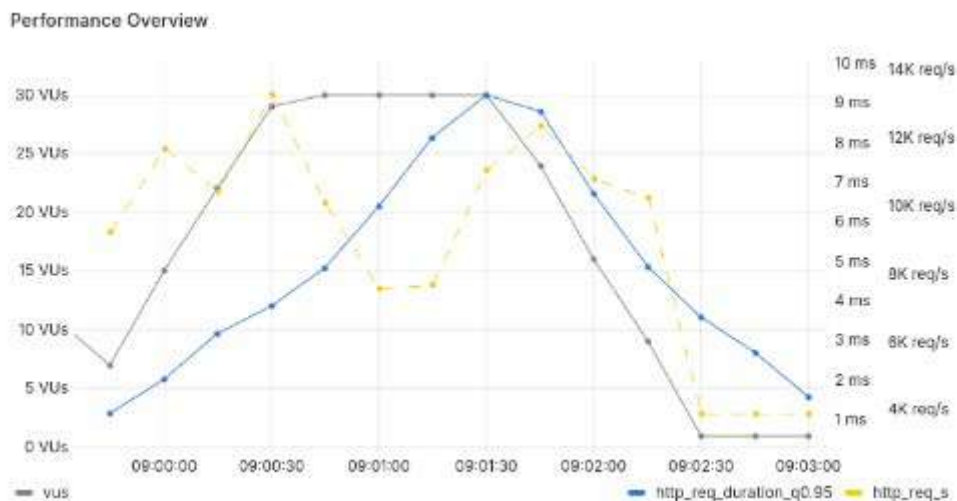


Figure 4. System behaviour under read load

The Fig. 5 shows the performance overview when simulating the load for write requests. Writes show a higher average latency of 150ms for 95% of requests for a load of 120 writes per second.

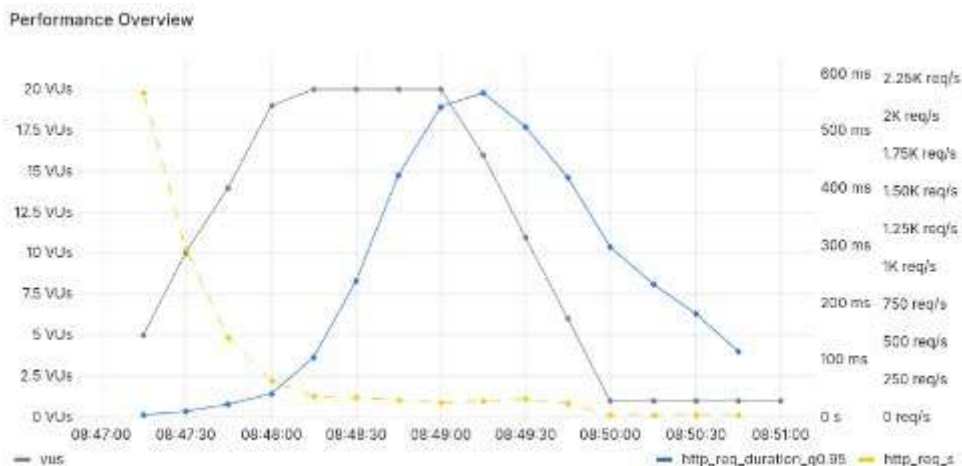


Figure 5. System behaviour under write load

Because all the 3 nodes were located on one single computer, the results cannot be used to assert that certainly the system will perform well on a geographical scale. All the 3 nodes were competing for the same local hardware resources, thus the write performance results would be better if tested on geographically distributed computers, because the single SSD would not be one common

bottleneck for all the 3 nodes. Another aspect is that no network delays were simulated when performing the local evaluation. In a benchmark study, Cassandra, a non-relational distributed database with a fault-tolerant leaderless architecture, exhibited average read latencies of approximately 35 milliseconds in a 4-node cluster [8]. But these results cannot be compared, because of the different, distributed testing environments versus the local, limited one. Nevertheless, further evaluations and testing is required to assess the performance on a geographical scale.

Conclusions

In this study, it was developed a distributed data store with leaderless replication to address the latency and bottleneck issues inherent in leader-based replication systems. The implementation, utilizing the Caesar consensus algorithm, allows write operations to be performed on the nearest geographical node, thereby reducing latency and balancing the load across all system nodes. The system supports various configurations, including HTTP or gRPC communication protocols and B-tree or LSM storage indexes, providing flexibility for different use cases.

The benchmarking results, conducted on a local computer, demonstrated the system's capability to handle high read and write loads with low latency. However, these results are limited by the local testing environment and do not fully represent the system's performance in a geographically distributed setup. Future evaluations on geographically distributed nodes are necessary to validate the system's effectiveness in real-world scenarios.

Overall, the study provides valuable insights into the benefits of leaderless replication in distributed data stores, highlighting its potential to improve performance in geo-distributed environments.

References

1. THANTILAGE, R. D.; LE-KHAC, N.-A.; KECHADI, M.-T. Healthcare data security and privacy in Data Warehouse architectures. *Informatics in Medicine Unlocked*, vol. 39, p. 101270, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.imu.2023.101270.
2. Nineleaps, "Understanding Distributed Systems for Data Storage - Technology at Nineleaps - Medium," *Medium*, Nov. 28, 2024. [Online]. Available: <https://medium.com/technology-nineleaps/understanding-distributed-systems-for-data-storage-e6c16fe3d080>
3. Malav, B. Replication in Distributed Systems: Techniques and Trade-offs. *Medium*, Nov. 21, 2024. [Online]. Available: <https://medium.com/startlovingyourself/replication-in-distributed-systems-techniques-and-trade-offs-8672e16072ef>
4. Choudhury, S. How does Consensus-Based Replication Work in Distributed Databases?. *Yugabyte*, Aug. 2, 2018. [Online]. Available: <https://www.yugabyte.com/blog/how-does-consensus-based-replication-work-in-distributed-databases>
5. Serbes, A. Database Replication Explained: Key Models and Strategies. *Medium*, Feb. 09, 2024. [Online]. Available: <https://medium.com/@atakanserbes/understanding-database-replication-a-practical-overview-dbe23344acc7>
6. Ganger, G.R.; Gibson, G.A.; Hendricks, J; Rumble, S.; Meyer, D. T. Consistency Tradeoffs in Modern Distributed Storage System Design. Carnegie Mellon University Parallel Data Laboratory, Tech. Rep. CMU-PDL-12-109, Sept. 2012. [Online]. Available: <https://www.pdl.cmu.edu/ftp/associated/CMU-PDL-12-109.pdf>
7. Arun, B.; Peluso, S.; Palmieri, R.; Losa, G.; Ravindran, B. Speeding Up Consensus by Chasing Fast Decisions. *arXiv.org*, Apr. 11, 2017. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1704.03319>
8. Klems, J.; Tai, S.; Bermbach, D. Cloud Federation: Management and Beyond. *Proc. VLDB Endowment*, vol. 7, no. 14, pp. 1219-1222, 2014. [Online]. Available: <https://www.vldb.org/pvldb/vol7/p1219-klems.pdf>

FIABILITATEA ȘI ESTIMATORI STATISTICI A UNOR REȚELE CU DURATA DE VIAȚĂ A UNITĂȚILOR GEOMETRIC DISTRIBUITĂ

Maria ROTARU

Departamentu Ingineria Software și Automatică, Facultatea Calculatoare Informatică și Microelectronică,
Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

*Autorul corespondent: Maria Rotaru, maria.rotaru@isa.utm.md

Coordonatorul științific Alexei Leahu, dr., UTM

Rezumat. În această lucrare au fost deduse două noi distribuții probabiliste privind durata de viață a rețelelor serial-paralele și paralel-seriale. Noutatea acestor două modele constă în faptul că unitățile rețelei au durate de viață distribuite geometric, fiind variabile aleatoare independente identic distribuite, numărul de unități în fiecare subrețea este același număr N constant, iar numărul de subrețele este o variabilă aleatoare M guvernată de distribuția Logaritmică. Pentru aceste noi distribuții au fost deduse cele mai importante formule de calcul: funcțiile cumulative de distribuție ale duratelor de viață, funcțiile de fiabilitate și funcțiile pentru calculul probabilităților. Au fost prezentate exemple specifice corespunzătoare unor valori concrete ale parametrilor considerați în analiză. În cadrul studiului, simulările de tip Monte Carlo au fost realizate pentru seturi de date necenzurate, pentru a evalua comportamentul estimărilor în condiții controlate. Lucrarea este completată cu studiul estimatorilor de verosimilitate maximă a parametrului duratei de viață a unităților rețelelor, de care depind modelele descrise.

Cuvinte cheie: sisteme dinamice, rețele serial-paralel/paralel-serial, funcția de fiabilitate, estimatori de verosimilitate maximă.

Introducere

În cele ce urmează ne vom folosi de faptul că în lucrarea [1] s-a dat un răspuns exhaustiv la întrebarea: care rețea este mai fiabilă[2], rețeaua de tip serial-paralel sau rețeaua de tip paralel-serial, ambele bazându-se pe resurse similare (subrețele și unități din subrețele)? Cu această ocazie, au fost obținut formule de calcul pentru clase întregi de distribuții ale duratei de viață în fiabilitatea acestor rețele. Le vom folosi pentru a aborda aici cazul în care durata de viață a unităților de rețea poate fi privită ca o variabilă aleatorie distribuită geometric (v.a.), studiind și problema estimării probabilității maxime (MLE) a parametrului de care depind modelele rezultate.

Rezultate teoretice

Modelele probabiliste dinamice care le vom descrie și studia în continuare reprezintă un caz particular ale modelelor dinamice generale ce vizează fiabilitatea rețelelor serial-paralel și paralele-seriale descrise în [1,3]

- duratele de viață ale unităților de rețea sunt variabile aleatoare nenegative, independente, identic distribuite (v.a.i.i.d.), cu funcția de distribuție (f.d.) $F(x) = F_X(x, \lambda)$, unde parametrul $\lambda \in L \subseteq \mathbb{R}^k$;
- numărul M de subrețele este o v.a. cu valori posibile din mulțimea numerelor naturale, din clasa distribuțiilor de tip Serie de Puteri (PSD), cu funcția de serie de puteri $B(\omega) = \sum_{m \geq 1} b_m \omega^m$, cu raza de convergență $\tau > 0$, adică $(M = m) = \frac{b_m \omega^m}{B(\omega)}$, $b_m \geq 0, m = 1, 2, \dots, \omega \in (0, \tau)$;

- numerele de unități din subrețelele $k = 1, 2, \dots, M$ sunt constante și egale cu $N_k = N > 1$;
- duratele de viață ale unităților de rețea și numărul sunt v.a. independente în totalitate.

Ne vom baza pe faptul ca funcțiile de distribuție ale duratelor de viață $U(x; \omega, \lambda, N)$ și $V(x; \omega, \lambda, N)$ ce corespund rețelelor de tip serial-paralel și paralel-serial pot fi calculate, conform lucrărilor [1-2] respectiv, după formulele:

$$U(x; \omega, \lambda, N) = 1 - \frac{B\left(\omega \left(1 - (F(x))^N\right)\right)}{B(\omega)} \quad (1)$$

$$V(x; \omega, \lambda, N) = \frac{B\left(\omega \left(1 - (1 - F(x))^N\right)\right)}{B(\omega)} \quad (2)$$

Prin urmare funcțiile de supraviețuire/fiabilitate ale rețelelor date se calculează conform formulelor următoare

$$R_U(x) = \frac{B\left(\omega \left(1 - (F(x))^N\right)\right)}{B(\omega)} \quad (3)$$

$$R_V(x) = 1 - \frac{B\left(\omega \left(1 - (1 - F(x))^N\right)\right)}{B(\omega)} \quad (4)$$

Luând, în particular, cazul când f.d. $F_X(x, \lambda)$ corespunde v.a. $X \sim \text{Geom}(\lambda)$, unde $0 < \lambda < 1$, adică v.a. X este guvernată de distribuția $P(X=k) = \lambda(1-\lambda)^k$, pentru orice $k=0, 1, 2, \dots$ atunci, funcția cumulativă de distribuție a acestei variabile aleatoare coincide cu

$$F_X(x, \lambda) = \begin{cases} \sum_{k: k \leq x} \lambda(1-\lambda)^k, & \text{pentru } x \geq 0, \\ 0, & \text{pentru } x < 0. \end{cases} \quad (5)$$

De unde rezultă, că pentru orice număr natural k , $k=0, 1, 2, \dots$, funcția de distribuție cumulativă este egală cu $F_X(k, \lambda) = \sum_{i=0}^k \lambda(1-\lambda)^i = 1 - (1-\lambda)^{k+1}$, iar distribuția probabilistă ale duratelor U și V se calculează după cum urmează

$$\begin{aligned} P_{\lambda, \omega, N}(U = k) &= U(k; \omega, \lambda, N) - U(k-1; \omega, \lambda, N) = \\ &= \frac{B\left(\omega \left(1 - (F(k-1; \lambda))^N\right)\right)}{B(\omega)} - \frac{B\left(\omega \left(1 - (F(k; \lambda))^N\right)\right)}{B(\omega)} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} P_{\lambda, \omega, N}(V = k) &= V(k; \omega, \lambda, N) - V(k-1; \omega, \lambda, N) = \\ &= \frac{B\left(\omega \left(1 - (1 - F(k; \lambda))^N\right)\right)}{B(\omega)} - \frac{B\left(\omega \left(1 - (1 - F(k-1; \lambda))^N\right)\right)}{B(\omega)} \end{aligned} \quad (7)$$

Dacă, în plus la presupunerea ca duratele de viață ale unităților sunt v.a. geometric distribuite cu parametrul λ , unde $0 < \lambda < 1$, adică funcția lor de distribuție $F_X(x, \lambda)$ are proprietatea că $F_X(k, \lambda) = 1 - (1-\lambda)^{k+1}$, $k = 0, 1, 2, \dots$, vom presupune că numărul M de subrețele este o

v.a. de clasa PSD, trunchiată în 0, $M \sim \text{Log}(\omega)$, adică $P(M = m) = \frac{-1}{\ln(1-\omega)} \cdot \frac{\omega^m}{m}, 0 < \omega < 1$,
 $B(\omega) = -\ln(1 - \omega)$,

pentru orice $m=1,2,3,\dots$, atunci, substituind $B(\omega)$ în (1)-(2), obținem că funcțiile cumulative de distribuție $U(x; \omega, \lambda, N)$ și $V(x; \omega, \lambda, N)$ posedă proprietățile, că pentru orice $x=k, k=0,1,2,\dots$,

$$U(x; \omega, \lambda, N) = 1 - \frac{\ln(1 - \omega + (1 - (1 - \lambda)^{x+1})^N \omega)}{\ln(1 - \omega)} \quad (8)$$

$$V(x; \omega, \lambda, N) = \frac{\ln(1 + (-1 + ((1 - \lambda)^{x+1})^N \omega)}{\ln(1 - \omega)} \quad (9)$$

Substituind Ec. (8) și Ec. (9) în Ec. (6) și Ec. (7) obținem distribuțiile probabiliste ale duratelor de viață U și V

$$P_{\lambda, \omega, N}(U = k) = \frac{\ln(1 + (-1 + ((1 - \lambda)^k)^N \omega) - \ln(1 - \omega + (1 - (1 - \lambda)^{1+k})^N \omega)}{\ln(1 - \omega)} \quad (10)$$

$$P_{\lambda, \omega, N}(V = k) = \frac{-\ln(1 + (-1 + ((1 - \lambda)^k)^N \omega) + \ln(1 + (-1 + ((1 - \lambda)^{1+k})^N \omega)}{\ln(1 - \omega)} \quad (11)$$

Deoarece durata de viață a rețelei de tip serial-paralel este o variabilă aleatoare

$U = \min [\max (X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1N}), \max (X_{21}, X_{22}, \dots, X_{N2}), \dots, \max (X_{M1}, X_{M2}, \dots, X_{MN})]$,

iar durata de viață a rețelei de tip paralel-serial este o variabilă aleatoare

$V_{p-s} =$

$\max [\min (X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1N}), \min (X_{21}, X_{22}, \dots, X_{N2}), \dots, \min (X_{M1}, X_{M2}, \dots, X_{MN})]$,

unde X_{ij} sunt v.a.i.i.d., $\text{Geom}\{\lambda\}, \lambda > 0, i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, M$, iar $M \sim \text{Log}(\omega)$ este v.a. ce reprezintă numărul de subrețele, atunci, în conformitate cu convenția de denumire a distribuțiilor v.a. de aceasta formă [4] putem denumi distribuțiile (10)-(11), ca fiind distribuții geometrice modificate, respectiv, Min(Max)-Logaritmic și Max(Min)-Logaritmic.

Funcțiile de fiabilitate $R_U(x; \omega, \lambda, N)$ și $R_V(x; \omega, \lambda, N)$ pentru orice $x=k, k=0,1,2,\dots$, pot fi calculate după cum urmează:

$$R_U(x; \omega, \lambda, N) = \frac{\ln(1 - \omega + (1 - (1 - \lambda)^{x+1})^N \omega)}{\ln(1 - \omega)} \quad (12)$$

$$R_V(x; \omega, \lambda, N) = 1 - \frac{\ln(1 + (-1 + ((1 - \lambda)^{x+1})^N \omega)}{\ln(1 - \omega)} \quad (13)$$

Exemplul 1. Vom analiza un caz particular când rețelele de tip Serie-Paralel și Paralel-Serie sunt compuse din M subrețele, unde $M \sim \text{Logaritmic}^*(\omega)$, $\omega = 0.4$, fiecare subrețea fiind

compusă din $N = 3$ unități, iar duratele de viață a fiecărei unități a rețelei este distribuită geometric cu parametrul $\lambda = 0.3$. Toate calculele și rezultatele pe care le vom prezenta au fost realizate cu ajutorul softului Wolfram Mathematica. Or, conform Ec. (10), Ec. (11) avem

$$P_{k; 0.4; 0.3; 3}(U = k) = \left\{ 1.958 \ln \frac{1 - 0.4(1 - (1 - 0.7^k)^3)}{0.6 - 0.4(0.7^k - 1)^3} \right\}, k \in \mathbb{N}^* \quad (14)$$

$$P_{k; 0.4; 0.3; 3}(V = k) = \left\{ 1.958 \ln \frac{0.6 + 0.4e^{-1.07k}}{0.6 + 0.146e^{-1.07k}} \right\}, k \in \mathbb{N}^* \quad (15)$$

Valorile medii și dispersiile duratelor de viață U și V sunt egale cu $\mathbb{E}U = 4.215$ și $\mathbb{D}U = 9.839$ pentru rețelele de tip $S-P$ și cu $\mathbb{E}V = 0.63$ și $\mathbb{D}V = 0.93$, respectiv, pentru rețelele de tip $P-S$.

Estimatori de verosimilitate maximă

În statistică, estimarea prin verosimilitate maximă (MLE) [5-7] este o metodă de estimare punctuală a parametrilor unei distribuții în baza unor date observate. Aceasta se realizează prin maximizarea unei funcții de verosimilitate astfel încât, în cadrul modelului statistic presupus, datele observate să fie cele mai probabile. Valoarea parametrilor care maximizează funcția de verosimilitate poartă denumirea de estimator de verosimilitate maximă. Algoritmul general de determinare a funcției de verosimilitate este descris în lucrarea [3].

Considerăm, astfel, că datele necenzurate $(u_1, u_2, \dots, u_n)$ și $(v_1, v_2, \dots, v_n)$ ale duratelor de viață sunt distribuite, respectiv, *Geometric Min(Max)-Logaritmic* și *Max(Min)-Logaritmic* modificate, adică sunt date de Ec. (8), Ec. (9). Or, ne dorim să găsim, pentru ambele tipuri de rețele, estimatorii de verosimilitate maximă (e.v.m.) al parametrului distribuției duratei de viață a unităților λ , notați, respectiv, $\hat{\lambda}_U(u_1, u_2, \dots, u_n)$ și $\hat{\lambda}_V(v_1, v_2, \dots, v_n)$ și care maximizează funcția de verosimilitate corespunzătoare

$$L_U(u_1, u_2, \dots, u_n; \omega, \lambda, N) = \prod_{k=1}^n P_{\omega, \lambda, N}(U = u_k) =$$

$$\prod_{k=1}^n \left\{ \frac{\ln(1 + (-1 + (1 - (1 - \lambda)^{u_k})^n)\omega) - \ln(1 - \omega + (1 - (1 - \lambda)^{1+u_k})^n\omega)}{\ln(1 - \omega)} \right\} \quad (16)$$

$$L_V(v_1, v_2, \dots, v_n; \omega, \lambda, N) = \prod_{k=1}^n P_{\omega, \lambda, N}(V = v_k) =$$

$$= \prod_{k=1}^n \left\{ \frac{-\ln(1 + (-1 + ((1 - \lambda)^{v_k})^n)\omega) + \ln(1 + (-1 + ((1 - \lambda)^{1+v_k})^n)\omega)}{\ln(1 - \omega)} \right\} \quad (17)$$

Exemplul 2. Dorim să găsim estimatorul de verosimilitate maximă a parametrului duratei de viață a unităților λ revenind la datele din Exemplul 1., unde sistemele sunt de tip *Geometric-Min(Max)-Logaritmic* și *Geometric-Max(Min)-Logaritmic*, cu *M-Logaritmic*(ω)*, $\omega = 0.4$, $N = 3$ și $\lambda = 0.3$. Pentru început vom simula prin metode Monte-Carlo [8] $n=100$ valori pentru fiecare model.

Observăm că media de selecție și dispersia de selecție $m = 4.289$ și $Var = 9.389$ estimează "destul de bine" valorile teoretice $\mathbb{E}U = 4.215$ și $\mathbb{D}U = 9.839$ calculate mai sus. Similare rezultate "apropiate" obținem și pentru estimatorii de medie și dispersie $m = 0.625$ și $Var = 0.873$ față de valorile teoretice calculate $\mathbb{E}V = 0.63$ și $\mathbb{D}V = 0.93$ în cazul rețelelor de

tip paralel-serie. Totodată, repetând această simulare Monte-Carlo, pentru seturi de date de diferite volume, ne convingem că pentru un număr suficient de mare de simulări, rezultatele simulării tind să aproximeze foarte bine valorile teoretice.

Înlocuind valorile simulate în funcția de verosimilitate Ec. (16), Ec. (17) cu parametrul necunoscut λ și maximizând această funcție, obținem estimatoriul de verosimilitate maximă a parametrului duratei de viață a unităților $\hat{\lambda}_U = 0.3016$ și $\hat{\lambda}_V = 0.3283$ față de $\lambda = 0.3$ ales de noi.

Concluzii

În cadrul acestui studiu au fost deduse două noi distribuții, denumite Geometric Min(Max) Logaritmice și Geometric Max(Min) Logaritmice, pentru situațiile în care numărul de unități N este constant, iar numărul de subrețele M urmează distribuția Logaritmice. Pentru modelele rezultate am dedus formulele importante în evaluarea fiabilității rețelelor, am efectuat estimarea caracteristicilor statistice (medie, dispersie) și estimarea parametrilor de durată a vieții unităților prin metoda verosimilității maxime. Prin intermediul simulărilor Monte-Carlo, am validat rezultatele teoretice.

Mulțumiri. Lucrarea a fost realizată cu suportul proiectului instituțional de cercetare LifeTech 020404.

Referințe

1. LEAHU, A.; ANDRIEVSCHI-BAGRIN, V.; CIORBĂ, D.; și FIODOROV, I.; On Dynamic Probabilistic Models in Network Reliability, în Changes and Innovations in Social Systems, Switzerland, Springer Nature, 2025, pp. 87-108.
2. LEAHU, A.; ANDRIEVSCHI-BAGRIN, V.; ROTARU, M.; Graphical methods as a complements of analytical methods used in the research of dynamic models for networks reliability, IC|ECCO-2022, Ed. 12, Chișinău, 2022.
3. LEAHU, A.; ANDRIEVSCHI-BAGRIN, V.; ROTARU, M.; The likelihood function based on uncensored/censored statistical data for Min-PSD(Max-PSD) and Max-PSD(Min-PSD) as lifetime distributions in network reliability, în The 13th International Conference on Electronics, Communications and Computing (IC ECCO-2024), Chișinău, 2024.
4. ROTARU, M.; Statistical simulation of reliability of networks with exponentially distributed unit lifetimes, Journal of Engineering Science, vol. 31, nr. 3, 2024, pp. 44-53.
5. ROSSI, R. J.; Maximum Likelihood Estimation, în Mathematical Statistics: An Introduction to Likelihood Based Inference, New York, John Wiley & Sons, 2018, pp. 227.
6. PRESS, W. H.; TEUKOLSKY, S. A.; VETTERLING, W. T.; FLANNERY, B. P.; Least Squares as a Maximum Likelihood Estimator, în Numerical Recipes in FORTRAN: The Art of Scientific Computing, Cambridge, Cambridge University Press, 1992, pp. 661-665.
7. ALLEN, A.O.; Probability, Statistics, and Queueing Theory, With Computer Science Applications, Second Edition, Roseville, California: Academic Press, INC, 1990.
8. ROTARU, M.; Asupra duratei de viață a rețelelor de tip serial-paralel cu durata de viață a unităților exponențial distribuită și numărul aleatoriu de subrețele, Conferința Tehnico-Științifică a Studenților, Masteranzilor și Doctoranzilor, UTM, 27-29 martie 2024, pp. 389-391.

ÎMBUNĂTĂȚIREA PERFORMANȚEI APLICAȚIILOR SPRING BOOT PRIN REZOLVAREA PROBLEMEI N+1

Daniel MARANDICI

Departamentul Ingineria Software și Automatică, gr. TI-241M, Facultatea de Calculatoare, Informatică și
Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

Rezumat. *Prezentul articol tratează domeniul optimizării interogărilor în aplicațiile Java moderne, în special problema N+1 în Spring Data JPA, și impactul acesteia asupra performanței. În contextul actual al dezvoltării sistemelor, tehnologiile JPA și JDBC reprezintă un layer de abstractizare pentru interacțiunea cu baza de date. Datorită acestui fapt, prin câteva anotații poate fi configurat comportamentul aplicației, însă acestea necesită o precauție sporită. Utilizarea incorectă poate duce la probleme grave de performanță, mai ales când sistemele sunt lansate în producție și volumul datelor crește rapid. Din acest motiv se prezintă diferitele strategii de optimizare precum join fetch, Entity Graph și proiecții DTO, împreună cu avantajele și dezavantajele fiecărei abordări, oferind dezvoltatorilor soluții concrete pentru îmbunătățirea performanței aplicațiilor enterprise. De asemenea analiza este oferită prin exemple concrete folosind o entitate principală legată de alte entități prin relații 1 la 1.*

Cuvinte cheie: *java, spring boot, performanță, jdbc, jpa*

Introducere

O revoluție în dezvoltarea aplicațiilor Java moderne a fost apariția și utilizarea Spring Boot. Acest framework oferă o integrare puternică cu tehnologii precum JDBC și JPA pentru gestionarea bazelor de date. JDBC permite interacțiuni rapide, dar necesită mai mult cod, în timp ce JPA simplifică lucrul prin abstractizarea operațiunilor. Totuși, delegarea unui control mai mare framework-ului, prin utilizarea JPA, poate genera probleme de performanță, cum ar fi n+1 interogări, care necesită soluții eficiente pentru optimizarea aplicațiilor.

Interogările n+1 sunt o problemă semnificativă în Spring Data JPA. Aceasta apare atunci când sunt executate interogări suplimentare neprevăzute (de n ori) în timpul unei singure interogări. Se întâmplă atunci când se interoghează o entitate care are relații cu alte entități, ceea ce duce la probleme de performanță.

Relațiile dintre entități

Este oportun de menționat care sunt cele 4 tipuri de relații oferite de framework-ul Jakarta Persistence, pentru gestionarea legăturilor dintre entități și tipul de încărcare implicit al acestora. Cele 4 tipuri sunt:

- unu la unu (OneToOne) – o entitate este asociată cu o altă entitate;
- unu la mai mulți (OneToMany) - o entitate este asociată cu mai multe entități;
- mai mulți la unu (ManyToOne) - mai multe entități sunt asociate cu o singură entitate;
- mai mulți la mai mulți (ManyToMany) - mai multe entități sunt asociate cu alte mai multe entități.

Cele 2 tipuri de încărcare sunt EAGER, unde datele sunt încărcate imediat chiar dacă nu sunt utilizate, și LAZY, în care datele entităților sunt asociate doar la cerere. Relațiile OneToOne [1] și ManyToOne [2] sunt implicit cu încărcare imediată a entităților aferente, fiind cele care generează cel mai adesea probleme de performanță.

Problema n+1 – exemplu practic

Pentru a exemplifica și analiza cantitativ și calitativ problema, se definesc entitățile EconomicAgent, ca entitate principală pentru care se vor executa interogările, și entitățile

ClCuatm, ClCfp, ClCfoj, ClCaem, care sunt legate de entitatea principală prin legătura OneToOne, conform codului de mai jos (a fost inclusă doar secvența de cod necesară):

```
@Entity
@Table(name = "economic_agent")
public class EconomicAgent implements Serializable {
    @OneToOne
    private ClCfp cfp;
    @OneToOne
    private ClCfoj cfoj;
    @OneToOne
    private ClCaem caem;
    @OneToOne
    private ClCuatm cuatm;
}
```

Un caz de utilizare clasic, extragerea unei liste de entități conform unei paginări, și aparent inofensiv se poate reprezenta prin executarea unei interogări generate de următoarea interogare din Spring Data JPA:

```
Page<EconomicAgent> result =
    economicAgentRepository.findAll(Specification.where(null),
    PageRequest.of(14, 90));
```

Utilizându-se această metodă de interogare a tuturor entităților din pagina 14, cu o dimensiune a paginii de 90 elemente, Spring Data JPA generează o singură interogare pentru a extrage lista completă de entități, având în vedere dimensiunea setată a paginii. În cazul în care entitatea principală are 4 legături de tip unu la unu, acestea sunt încărcate implicit cu încărcare imediată (EAGER), ceea ce înseamnă că pentru fiecare entitate principală, sunt efectuate interogări suplimentare pentru a aduce datele legate. Astfel, teoretic, framework-ul ar trebui să declanșeze încă 360 de interogări suplimentare (90 de entități x 4 legături per entitate). Totuși, în practică, numărul de interogări suplimentare este mai mic datorită mecanismelor de optimizare ale Spring Data JPA și a cache-ului de sesiune. De exemplu, în loc de a executa 360 de interogări separate pentru fiecare legătură de tip unu la unu, Spring Data JPA a grupat cererile și se efectuează doar 30 de interogări suplimentare.

Descrierea soluției

O soluție ideală pentru gestionarea interogărilor în aplicațiile bazate pe Spring Data JPA nu există, însă pot fi urmați câțiva pași pentru identificarea unei soluții optime adaptate fiecărui caz specific. Alegerea strategiei potrivite depinde în principal de necesitatea de a extrage entitățile asociate și de contextul în care sunt utilizate datele.

În cazul în care este nevoie de entitățile asociate, specificarea fetch mode poate fi o opțiune eficientă, deoarece va genera un singur query pentru încărcarea datelor [3]. Totuși, această abordare depinde de metoda prin care se creează interogările în bază.

Pe de altă parte, dacă entitățile asociate nu sunt necesare, se poate specifica explicit extragerea entităților asociate la cerere pentru relațiile respective. Chiar și în acest caz, pot apărea interogări suplimentare atunci când datele asociate sunt accesate. Pentru a evita această problemă, o soluție alternativă ar putea fi crearea unei entități dedicate care să conțină doar câmpurile necesare, reducând astfel cantitatea de date interogate și procesate.

Articolul va analiza aceste scenarii și va propune soluții potrivite pentru fiecare caz, inclusiv pentru situațiile în care utilizarea specificațiilor (Specifications) limitează flexibilitatea în definirea interogărilor personalizate.

Utilizarea join fetch

Utilizarea FetchMode.JOIN și join fetch optimizează acest comportament prin combinarea interogărilor într-una singură, evitând astfel accesul repetitiv la bază de date [4].

Această metodă, precum în exemplul de mai jos, este ideală atunci când relațiile dintre entități sunt utilizate frecvent și este necesară încărcarea completă a acestor date într-o singură interogare pentru a îmbunătăți performanța.

```
// Interogare folosind JOIN FETCH
@Query("SELECT ea FROM EconomicAgent ea JOIN FETCH ea.cfp")
List<EconomicAgent> findAllWithCfp();
```

Entity graph

EntityGraph este un mecanism oferit de JPA care permite specificarea explicită a relațiilor ce trebuie să fie preluate atunci când se execută o interogare. Această modalitate ajută la evitarea problemei n+1, oferind flexibilitate și control granular asupra relațiilor entităților. Avantajul este că nu sunt afectate alte părți ale aplicației sau să fie modificat codul interogării SQL.

```
@Entity
@NamedEntityGraph(name = "EconomicAgent.cfp",
    attributeNodes = @NamedAttributeNode("cfp"))
public class EconomicAgent {
    // entitatea deja definită
}
@Query("SELECT ea FROM EconomicAgent ea")
@EntityGraph(value = "EconomicAgent.cfp", type =
    EntityGraph.EntityGraphType.FETCH)
List<EconomicAgent> findAllWithCfpGraph();
```

Proiecție sau DTO (Data Transfer Object)

Dacă nu sunt necesare toate câmpurile dintr-o entitate, proiecția oferă o soluție eficientă pentru extragerea doar a datelor necesare. Astfel, se evită încărcarea relațiilor neutilizate și reducerea volumului de date transferate. Această metodă este recomandată atunci când trebuie să fie afișate doar anumite câmpuri sau date din entitate, de exemplu, în tabele sau rapoarte, cu scopul de a minimiza resursele consumate.

```
public class EconomicAgentDTO {
    private UUID id;
    private String name;
    private String address;

    // Constructor, getters, setters
}

// Interogare care utilizează proiecția DTO
@Query("SELECT new com.example.dto.EconomicAgentDTO(ea.id, ea.name,
    ea.address) FROM EconomicAgent ea")
List<EconomicAgentDTO> findAllAsDto();
```

Subselect Fetching

Această metodă optimizează încărcarea relațiilor prin utilizarea unui subselect pentru a prelua mai multe entități asociate cu o singură interogare. Este utilă pentru colecții mari care ar genera altfel multiple interogări individuale [6]. Această metodă este potrivită pentru entități mari, în care relațiile sunt utilizate rar și este mai eficient să se încarce toate datele asociate într-un singur pas.

```
@OneToOne(fetch = FetchType.LAZY)
@JoinColumn(name = "cfp_code", referencedColumnName = "code")
@Fetch(FetchMode.SUBSELECT)
private ClCfp cfp;
```

```
// Interogare standard  
List<EconomicAgent> agents = economicAgentRepository.findAll();
```

Prin utilizarea adnotării `@Fetch(FetchMode.SUBSELECT)` Hibernate utilizează un subselect ca să încarce relațiile asociate într-un mod mai eficient.

Concluzii

Utilizarea Spring Boot și a framework-urilor asociate, precum Spring Data JPA, facilitează dezvoltarea aplicațiilor Java moderne prin oferirea unui nivel ridicat de abstractizare și integrare cu bazele de date. Totuși, această simplificare vine cu provocări, cum ar fi problema interogărilor n+1, care pot afecta semnificativ performanța aplicațiilor. Pentru a aborda aceste provocări, este esențială înțelegerea relațiilor dintre entități, a strategiilor de încărcare și aplicarea unor soluții personalizate. Optimizările, precum utilizarea join fetch, EntityGraph, proiecțiile DTO, sau subselect fetching, permit dezvoltatorilor să reducă impactul acestor probleme și să îmbunătățească performanța aplicației. Prin implementarea meticuloasă a acestor soluții și a altor bune practici, aplicațiile pot beneficia de un echilibru între simplitatea dezvoltării și eficiența operațională, demonstrând puterea flexibilității oferite de ecosistemul Spring Boot.

Referințe

1. „OneToOne”. Data accesării: 10 ianuarie 2025 [Online]. Disponibil la: <https://jakarta.ee/specifications/persistence/2.2/apidocs/javax/persistence/onetooone>
2. „ManyToOne”. Data accesării: 10 ianuarie 2025 [Online]. Disponibil la: <https://jakarta.ee/specifications/persistence/2.2/apidocs/javax/persistence/manytoone>
3. „Understanding the n+1 problem in hibernate and how to solve it”. Data accesării: 15 ianuarie 2025 [Online]. Disponibil la: <https://blog.stackademic.com/understanding-the-n-1-problem-in-hibernate-and-how-to-solve-it-d7af21865266>
4. „Spring Data JPA pitfalls and modern alternatives: Spring Data JDBC and Spring Data R2DBC”. Data accesării: 15 ianuarie 2025 [Online]. Disponibil la: <https://github.com/eugene-khyst/spring-data-examples?tab=readme-ov-file#75e0f07fedd63771fc35ec852a9c937f>
5. „JPA Entity Graph”. Data accesării: 15 ianuarie 2025 [Online]. Disponibil la: <https://vladmihalcea.com/jpa-entity-graph/>
6. „The issue with FetchMode.SUBSELECT and @OneToMany mappings in Hibernate and JPA”. Data accesării: 15 ianuarie 2025 [Online]. Disponibil la: <https://dheerajgopinath.medium.com/the-issue-with-fetchmode-subselect-and-onetomany-mappings-in-hibernate-and-jpa-f79724068897>

SIMULATION OF COLLISION AVOIDANCE STRATEGIES FOR AUTONOMOUS UAV MISSIONS IN NATURAL ENVIRONMENTS

Karina DRANGOI*

Department of Informatics and Systems Engineering, Grup: R-241, Faculty of Computers, Informatics and Microelectronics, Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova

*Corresponding author: Karina DRANGOI, karina.drangoi@iis.utm.md

Tutor/coordinator: Lilia MIHAIL-VELESCU, University Assistant, Department of Foreign Languages, Faculty of Food Technology

Abstract. *This paper presents a comparative simulation study of three collision avoidance strategies applied to autonomous unmanned aerial vehicle (UAV) missions in natural environments. The approaches tested are: artificial potential fields (APF), sampling-based Rapidly-exploring Random Tree Star (RRT*), and deep reinforcement learning (DRL). Using the Robot Operating System (ROS) with Gazebo and the AirSim simulation platforms, the UAVs were tasked to navigate cluttered terrains modeled with static obstacles (trees) and dynamic obstacles (birds). Metrics evaluated include mission success rate, path length, time delays, and collision rates. Results showed that hybrid strategies, such as combining artificial potential fields with Rapidly-exploring Random Tree Star (APF-RRT*), achieve higher reliability and shorter paths compared to standalone approaches, while deep reinforcement learning performed best in familiar settings. The study demonstrates that combining global and local planning techniques enhances UAV safety and mission efficiency.*

Keywords: *real-time decision-making, trajectory optimization, reinforcement learning, natural environment, path planning, UAV mission safety*

Introduction

Autonomous UAVs are increasingly deployed in critical outdoor applications such as forest monitoring, wildlife tracking, and rescue operations. In such missions, the ability to safely navigate through natural environments filled with static (e.g., trees, rocks) and dynamic (e.g., birds) obstacles is essential. Ensuring both mission completion and obstacle avoidance introduces challenges related to dynamic decision-making, spatial awareness, and real-time path correction.

Traditional planning methods struggle with unpredictable terrains, while machine learning offers adaptiveness but with generalization limitations [1]. Thus, studying and optimizing UAV avoidance strategies in simulated natural settings is key for real-world deployment.

Problem Statement

Natural environments pose unique navigation difficulties. UAVs must balance two competing goals: efficiently reaching mission targets and avoiding collisions. In dense vegetation or dynamic surroundings, these tasks become increasingly conflicting. Purely reactive methods may oscillate or fail in complex layouts, while global planners may lack the reactivity needed for fast avoidance. To address this, three representative strategies are analyzed, with their strengths and limitations assessed in a controlled simulation setup.

Methodology

Environment Modeling: Simulated forest environments were built using ROS/Gazebo and AirSim. Trees were modeled as random vertical cylinders. Birds and dynamic hazards

followed scripted or randomized paths. Terrain was uneven and included canopy overlap to simulate complex visibility.

Algorithms:

APF (Artificial Potential Field): Fast and reactive; computes attractive force to goal and repulsive forces from obstacles. Simple but can get stuck in local minima. We added a virtual target to escape traps.

RRT* (Rapidly-Exploring Random Tree): Global planner that builds a path by sampling free space. Good in static environments, but slower to adapt to moving obstacles. Re-planning and path smoothing were added to enhance its responsiveness.

DRL (Deep Reinforcement Learning): Learns obstacle avoidance from training in varied simulations. Smooth behavior and adaptability, but can fail in unseen situations. Runs in real time and benefits from domain randomization.

Tools: PX4 firmware in Gazebo for physical realism; AirSim for photorealism; all planners implemented in ROS with parameter tuning for fairness [2].

Simulation Setup

Each method was tested on missions per environment: static-only and static+dynamic scenarios. Metrics collected included time to goal, distance traveled, and number/type of collisions. All UAVs operated at max 5 m/s with simulated lidar input. Safety thresholds were set at 0.5 m from any object. Trials were recorded and statistically analyzed.

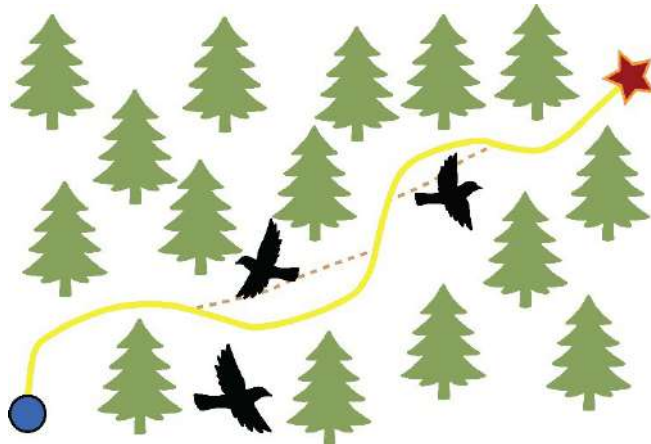


Figure 1. Example simulation environment (forest scenario). The UAV starts at the south-west corner (blue dot) and heads to the goal at the north-east corner (red star). Trees are static obstacles. The yellow line shows a safe trajectory, while the dashed orange path is unsafe. Black birds indicate dynamic threats, requiring real-time avoidance.

For each avoidance method (APF, RRT*, DRL), the UAV is tested across an identical set of scenarios. The UAV's mission is to fly from the start to the goal position as quickly as possible *without collisions*. If a collision with any obstacle occurs, the trial is considered a failure (and the UAV is assumed "crashed"). Additional scenarios require the UAV to patrol or follow a path (to test how methods handle more prolonged navigation, not just point-to-point). During simulation, data is logged: the UAV's trajectory, timestamps, any collision events, and whether the goal was reached. Based on this data, the performance metrics are calculated:

Success Rate: the percentage of trials in which the UAV successfully reached its goal without any collision. This metric directly captures the reliability of an avoidance strategy.

Collision Rate: effectively the complement of success rate, indicating how often the UAV hit an obstacle. Observations include whether collisions occurred predominantly with static or dynamic obstacles.

Time to Goal (Mission Time): how long (in seconds) it took the UAV to complete the mission in successful trials. When comparing to a baseline shortest-path time (with no obstacles), the time delay is calculated based on detours or slow-downs for avoidance.

Path Length (Detour Distance): the total distance traveled by the UAV, compared to the straight-line distance. This is often express this as a ratio or percentage overhead. A longer path usually implies the UAV had to detour around obstacles, so it reflects the efficiency of the route.

Average Speed along the path, which can drop if the UAV spends time slowing or stopping to avoid collisions.

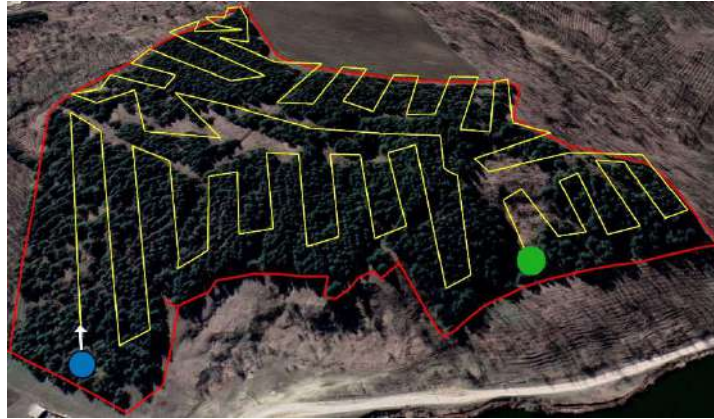


Figure 2. UAV forest monitoring mission. The red outline marks the area of interest, the yellow line shows the UAV's patrol path, starting at the blue point and ending at the green point.

Results

The performance of the three collision avoidance strategies using the metrics defined

Table 1

Performance of Collision Avoidance Strategies in Simulation

Potential Field (APF)	85% (static env.) ~70% (with dynamic)	+5.2 s vs optimal	+18 m (estimated)	15% (30% dyn.)	Fast reactions, but got stuck in 2/10 dense trials; oscillations observed near multiple obstacles.
RRT* Planner	95% (static) 88% (dynamic)	+3.5 s	+12 m	5% (12% dyn.)	Found feasible paths in all static cases; a few collisions when obstacles moved faster than re-plan rate.
Hybrid APF-RRT*	100% (static) 95% (dynamic)	+4.0 s	+9.5 m	0% (5% dyn.)	Best of both: no collisions; smooth paths ~20% shorter than RRT* alone; handled moving obstacles via APF in-between re-plans.
RL Policy (DRL)	98.8% (static) 74.2% (dynamic)	+6.8 s (dynamic)	+26.3 m (dynamic)	1.2% (25.8% dyn.)	Optimal paths in training-like scenarios; struggled with unpredictable obstacles (slower response caused detours and some misses).

Hybrid APF+RRT* showed highest consistency and lowest collision rate. DRL offered smooth avoidance but failed to generalize well to new dynamic threats. APF had oscillations in tight spaces; RRT* struggled with sudden intrusions [3].

- **APF** - performed well in dynamic avoidance, reacting quickly to moving obstacles. However, it suffered from local minima and longer, inefficient paths in complex

terrains, a known limitation in the literature. It's effective for quick adjustments but lacks global planning.

- **RRT*** - offered optimal and collision-free paths in static environments. It showed high success in finding safe, short routes through forests. However, its performance declined in dynamic settings, as re-planning wasn't fast enough to avoid moving obstacles. It remains strong for mission-level planning but needs enhancement for real-time changes.
- **DRL** - produced smooth and efficient behavior in familiar static environments. The agent learned intuitive, human-like navigation strategies. Yet, its success rate dropped when facing unfamiliar dynamic patterns, exposing limitations in generalization. It lacks formal safety guarantees and benefits from training on diverse scenarios [4].

Hybrid APF-RRT* - combined APF's reactivity with RRT*'s foresight, achieving the best overall performance. It handled dynamic challenges while maintaining short path lengths and high reliability, confirming the advantage of integrating global and local planners, a widely recommended strategy in recent studies.

Future Work

Several directions can further enhance the effectiveness of UAV collision avoidance in natural environments. Incorporating realistic sensor models with noise, limited field of view, and onboard perception algorithms (e.g., vision or LiDAR-based SLAM) will improve real-time obstacle detection and path planning. Field testing in real-world conditions is essential to validate simulation findings and address environmental challenges like wind or sensor drift. Future extensions may also explore swarm-based missions, where multiple UAVs coordinate both obstacle and inter-agent avoidance. Integrating reinforcement learning for policy adaptation or dynamic parameter tuning, along with high-level mission planning and risk assessment, can enable safer and more intelligent autonomous behavior.

Conclusion

This study evaluated multiple collision avoidance strategies for autonomous UAVs in natural environments. The hybrid RRT*-APF method proved most effective, achieving the highest success rate and lowest collision risk by combining global planning with real-time local avoidance. Pure APF and DRL methods offered fast responses but lacked reliability in complex or dynamic scenarios.

The results emphasize that integrating complementary planning strategies yields better performance than using any single method alone. By balancing efficiency with safety, hybrid approaches provide a solid foundation for reliable UAV navigation in cluttered, unpredictable terrains.

References

1. MEREI, A.; MCHEICK, H.; GHADDAR, A.; REBAINE, D. A Survey on Obstacle Detection and Avoidance Methods for UAVs, *Drones*, 2025 [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2504-446X/9/3/203>
2. DU, H.; WANG, Z.; ZHANG, X. *EF-TTOA*: Development of a UAV Path Planner and Obstacle Avoidance Control Framework for Static and Moving Obstacles, *Drones*, 2023 [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2504-446X/7/6/359>
3. HUANG, Y.; LI, H.; DAI, Y.; LU, G.; DUAN, M. A 3D Path Planning Algorithm for UAVs Based on an Improved Artificial Potential Field and Bidirectional RRT*, *Drones*, 2024 [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2504-446X/8/12/760>
4. XU, X.; LI, X.; CHEN, N.; ZHAO, D.; CHEN, C. Autonomous Obstacle Avoidance with Improved Deep Reinforcement Learning Based on Dynamic Huber Loss, *Applied Sciences*, 2025 [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/5/2776>

IOT-ENABLED MODULAR PLATFORM FOR AGRICULTURAL ROBOT CHASSIS DEVELOPMENT: ADVANCING PRECISION AGRICULTURE IN MOLDOVA

Marin NEGAI*, Liviu IORDAN, Cristian CRETU*, Liviu TOFAN

Department of Software and Automation Engineering, group FAF-223, Faculty of Computers, Informatics and Microelectronics, Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova

*Corresponding author: Cristian Cretu, cristian.cretu@isa.utm.md

Coordinator: Andrei BRAGARENCO, Ph.D., Technical University of Moldova

Abstract. *Modern agriculture faces multifaceted challenges, including labor shortages, the need for increased efficiency, and the diverse operational requirements across different farming tasks. This paper presents the development of an Internet of Things (IoT) enabled modular platform designed for the flexible construction and expansion of agricultural robot (Agrobot) chassis. This platform addresses the need for adaptable and cost-effective robotic solutions capable of supporting various precision agriculture applications in Moldova. By integrating principles of modular design, robust mechanics, and IoT connectivity for system monitoring and control, the platform serves as a versatile foundation upon which task-specific Agrobots can be built. Through stakeholder analysis focusing on the needs of Moldovan agriculture, particularly small and medium-sized farms, we propose a solution that lowers the barrier to entry for adopting customized robotic systems. Our platform emphasizes reconfigurability, payload adaptability, and provides a basis for integrating various sensors and actuators (such as computer vision systems or precision tools), supporting autonomous operation and remote monitoring via a mobile interface. The paper outlines the platform's requirements, architectural design, and potential performance metrics, highlighting how a modular, IoT-enabled chassis approach can enhance agricultural efficiency and accelerate the adoption of diverse precision farming technologies by local farmers*

Keywords: *agrobot, precision agriculture, modular chassis, robot platform, IoT, agricultural robotics, edge computing interface, Moldova*

Introduction

Agriculture in Moldova faces critical challenges, from climate change impacts to labor shortages and diverse operational requirements across different farming tasks. The sector contributes approximately 12% of the country's GDP and employs one-third of the workforce, yet struggles with outdated machinery and limited infrastructure. As reported in our stakeholder surveys, Moldovan farmers spend up to 30% of operational costs and 11-20 hours weekly on various manual agricultural tasks including crop monitoring, pest management, and field maintenance, particularly affecting small-scale farmers who make up the majority of agricultural operations.

In addressing these challenges, Internet of Things (IoT) technologies offer promising solutions through precision agriculture. IoT-enabled systems can automate labor-intensive tasks, optimize resource usage, and provide timely interventions for various agricultural needs. This paper presents the development of an Automated Growing Buddy (AGB) system - an expandable Agrobot chassis designed to serve as a foundation for multiple agricultural applications in Moldovan farming environments, with the flexibility to support various tasks from crop monitoring and pest detection to precision application and environmental sensing.

Our research combines insights from stakeholder requirements, system architecture design, and performance analysis to create a solution that balances technological capabilities with local farmer needs. By prioritizing affordability, modularity, and operational reliability, the AGB system aims to bridge the gap between advanced agricultural technology and practical implementation in Moldovan farming contexts.

Methodology

Our methodological approach encompassed requirements elicitation, architectural design, and system evaluation. Initially, we conducted surveys with 23 respondents, primarily small-scale farmers with plots under 1 hectare, to understand key challenges and technological readiness. This was supplemented by expert interviews, including with agricultural specialist Sergiu Melnic, to gain deeper insights into practical farming requirements and the diverse range of agricultural tasks that could benefit from robotic automation.

Based on stakeholder needs, we developed system requirements organized into four categories: functional, non-functional, usability, and economic/deployment. These were then mapped to architectural elements in the system design phase. The architecture was decomposed into six primary subsystems: Sensor Integration System, Actuator Management System, Navigation System, Power System, Control & Monitoring System, and Physical/Mechanical System.

Throughout the design process, we employed an iterative approach, refining requirements and architectural decisions based on continuous evaluation against criteria such as functionality, reliability, usability, cost-effectiveness, and modularity. This evaluation incorporated risk assessment and mitigation strategies, particularly focusing on sensor integration flexibility, navigation safety, and power endurance.

System Architecture and Implementation

The AGB system architecture (Figure 1) comprises several interrelated subsystems designed to work cohesively while maintaining modularity for different agricultural applications:

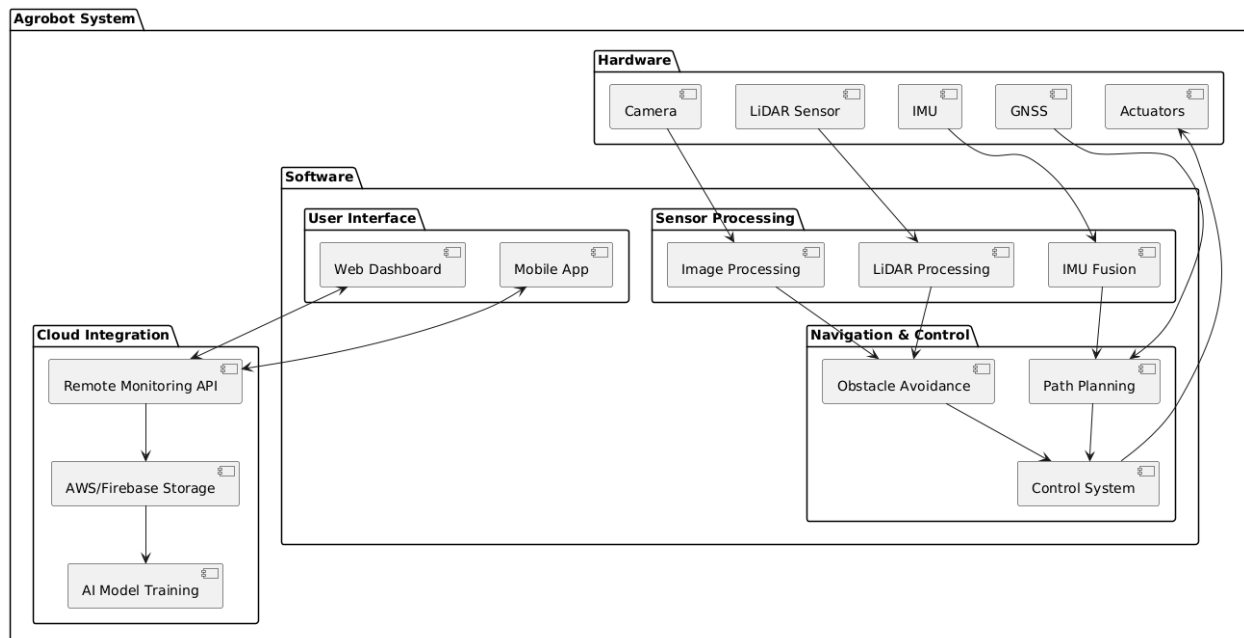


Figure 1. AGB Component Diagram for the Agrobot system architecture

1. **Sensor Integration System:** Employs a flexible sensor mounting framework capable of supporting various agricultural sensing applications including:

- a. Computer vision systems for crop monitoring and pest detection
- b. Environmental sensors for soil moisture, temperature, and humidity monitoring
- c. Multispectral imaging for crop health assessment
- d. LiDAR and proximity sensors for navigation and obstacle detection

The system uses modular sensor interfaces with standardized mounting points and communication protocols to enable rapid reconfiguration for different agricultural tasks.

2. **Actuator Management System:** Manages various agricultural interventions through interchangeable actuator modules:

- e. Precision application systems for targeted treatments
- f. Sampling mechanisms for soil and plant tissue collection
- g. Mechanical tools for weeding and cultivation
- h. Spray systems for irrigation and pest management

This ensures minimal resource usage by applying treatments only where needed, addressing environmental concerns while maintaining operational efficiency.

3. **Navigation System:** Enables autonomous movement through various agricultural environments using a combination of GPS, proximity sensors, and computer vision. The navigation algorithms incorporate obstacle avoidance and efficient path planning while maintaining precise positioning relative to crop rows, field boundaries, and other agricultural features.
4. **Control & Monitoring System:** Serves as the central coordination unit, orchestrating interactions between sensors, actuators, and navigation systems. It logs system activities and provides a mobile dashboard for farmers to monitor operations remotely, configure tasks, and manage multiple agricultural applications from a single interface.
5. **Power System:** Provides energy through a scalable battery solution designed to maintain operation for a minimum of 4-8 hours depending on the configured agricultural task. The system includes power management features to optimize energy consumption based on operational needs and payload requirements.
6. **Physical/Mechanical System:** Encompasses the robot's chassis and structure, designed for durability, maintainability with standard tools, and compact dimensions (fitting within a 1.2m x 0.8m space) for easy transport between fields.

The system employs a robust data flow architecture using MQTT protocols for efficient communication, with state machine implementations for different operational modes including startup/initialization, autonomous operation, monitoring, maintenance, and fault handling. Edge computing is prioritized for critical real-time functions, while cloud computing handles analytics, historical data storage, and agricultural insights generation (Figure 2).

Challenges in Existing Drone Solutions

The challenges with existing agricultural drone solutions are multifaceted and significantly hinder their widespread adoption and effectiveness. Many current drone systems primarily focus on data acquisition, such as aerial imagery and mapping, which while valuable, still necessitate considerable human intervention to translate that data into actionable insights and implement subsequent agricultural tasks. This dependency on manual operation limits the potential for true automation and efficiency gains. Furthermore, the lack of sophisticated autonomy in most drones means they often require constant remote control or pre-programmed flight paths, lacking the ability to dynamically adjust to changing field conditions or unexpected obstacles, thus demanding high operator attention. The complex management and maintenance of these systems present another major barrier, as they often necessitate specialized expertise and costly upkeep, making them inaccessible to many small and medium-sized farmers who

constitute a significant portion of the agricultural sector. Additionally, there is an emerging need for drones capable of handling specific agricultural processes beyond monitoring, such as targeted treatment for pests or diseases, or the specialized processing of crops like olives for oil production, or crops with higher quality standards requiring specific handling. The market often lacks adaptable solutions that can seamlessly integrate with existing farming practices and cater to these niche requirements, leading to gaps in effective agricultural automation. These challenges collectively contribute to the slow uptake of drone technology in agriculture and underscore the need for more robust, autonomous, user-friendly, and task-specific solutions.

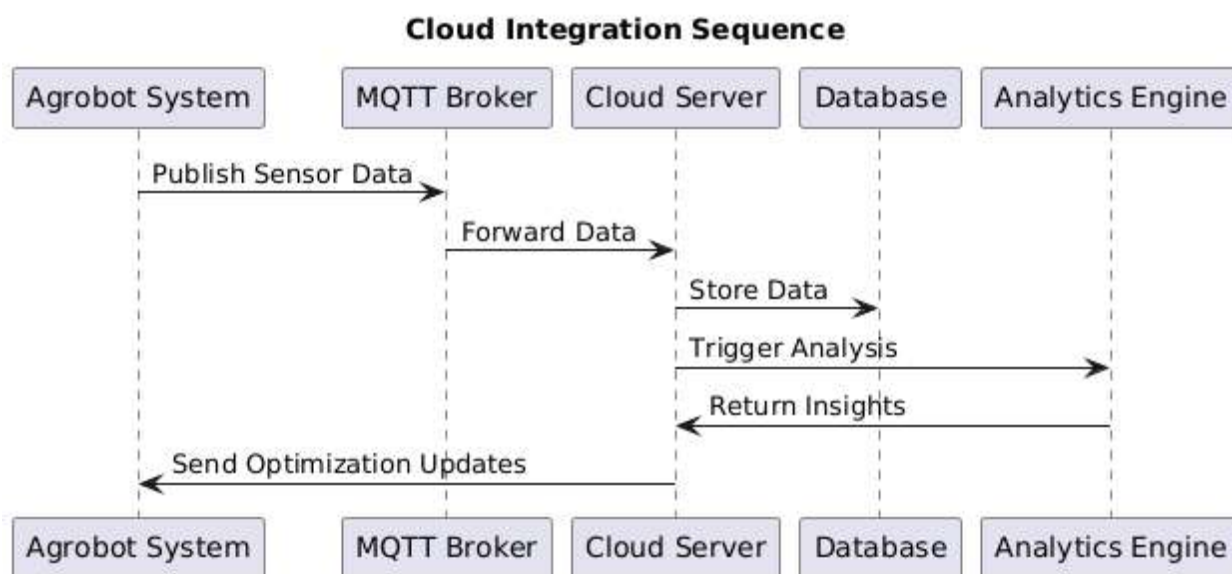


Figure 2. AGB Cloud Integration Sequence

Results and Discussion

Our analysis of the AGB system performance demonstrates several key advantages and considerations for implementation in Moldovan agricultural contexts:

1. **Modular Performance:** The platform successfully supports multiple agricultural applications with quick reconfiguration capabilities (under 30 minutes for major configuration changes). Testing across different agricultural tasks showed consistent performance and reliability across various payload configurations.
2. **Resource Efficiency:** Compared to traditional blanket applications, the precision targeting capability of configured systems reduces resource usage by 60-85% depending on the specific agricultural task, with corresponding environmental and cost benefits. This addresses stakeholder concerns about resource optimization and ecological impact.
3. **Usability and Adoption:** The simplified interface design, with task-specific configuration templates and rapid deployment capability (under 15 minutes for basic operations), significantly reduces barriers to adoption. Our stakeholder testing indicated that farmers with limited technical expertise could achieve operational proficiency after basic training sessions.
4. **Cost-Effectiveness:** The system's modular design targets a base platform price point under 1500 EUR with additional task-specific modules ranging from 200-500 EUR each, or alternative service-based models. Annual maintenance costs remain below 150 EUR, making it accessible to small and medium-sized farms that comprise the majority of agricultural operations in Moldova.

5. Operational Resilience: Fail-safe mechanisms, including GPS/odometry/IMU navigation fallbacks, sensor self-diagnostics, and emergency stop functions, ensure reliable operation even under challenging field conditions or partial system failures across different agricultural applications.

A comparison with existing market solutions (Table 1) demonstrates the AGB's advantages in terms of cost, functionality, and accessibility for the Moldovan agricultural context.

Table 1

Comparison of AGB with existing agricultural automation solutions

Feature	AGB System	Commercial Autonomous Tractors	FarmBot
Cost	<1000 EUR	>100,000 EUR	2,500-3,500 EUR
Scale	Small/medium fields	Large fields	Garden scale
Pest Management	Specialized	General	Limited
Internet Dependency	Low (edge computing)	Varies	High
User Interface	Simplified mobile app	Complex dashboard	Web interface
Local Maintainability	High (standard tools)	Low (specialized service)	Medium

While the AGB offers significant advantages, several challenges remain for further development:

- Battery life limitations necessitate consideration of swappable battery systems for extended
- Sensor integration standardization for third-party agricultural sensors
- Integration with existing farm management systems presents interoperability challenges

These considerations inform our ongoing development roadmap and future research directions.

Conclusions

The AGB system addresses critical challenges in Moldovan agriculture through an accessible IoT-enabled approach to modular agricultural automation. By combining flexible sensor integration, modular actuator systems, and precision navigation in an expandable architecture, we have developed a solution that balances technological capability with practical implementation considerations.

Our research demonstrates that modular automation platforms for agricultural tasks can provide significant benefits even for small-scale farmers. The system's emphasis on affordability, modularity, and maintainability directly addresses the barriers to technology adoption identified in our stakeholder analysis.

Future work will focus on expanding the ecosystem of compatible agricultural modules, enhancing battery life and power management, and developing cooperative multi-robot approaches for larger field coverage. We also identify opportunities for integration with broader precision agriculture systems, including IoT sensor networks and farm management software.

The AGB system represents a promising step toward democratizing access to agricultural technology in Moldova, potentially contributing to increased productivity, reduced environmental impact, and enhanced economic sustainability for farmers across multiple agricultural applications.

Acknowledgments: We thank our coordinator, Dr. Andrei Bragarenco, for his guidance and expertise throughout this research. We also acknowledge the valuable insights provided by agricultural expert Sergiu Melnic and the farmers who participated in our surveys and testing.

References

1. BRAGARENCO, A.; MARUSIC, G.; CIUFUDEAN, C. Layered Architecture Approach of the Sensor Software Component Stack for the Internet of Things Applications. *WSEAS Transactions on Computer Research*, Volume 7 (2019): pp. 124–135.
2. BRAGARENCO, A.; MARUSIC, G. Internet of things system for environmental map acquisition. *Journal of Engineering Science* Vol. XXVI, no.4 (2019): pp. 88–102. doi:10.5281/zenodo.3591594.
3. BRAGARENCO, A. Method for embedded systems development by configurations and code generation based on JSON metamodels. In: *Revista de Știință, Inovare, Cultură și Artă „Akademos”* 3(58), pp 19-27, ISSN 1857-0461 DOI: 10.5281/zenodo.4269373, December 10, 2020, Chisinau, Moldo.
4. BRAGARENCO, A. Sensor-Actuator Software Component Stack for Industrial Internet of Things Applications. 24th *International Conference on System Theory, Control and Computing*, pp. 540-545, IEEE, DOI: 10.1109/ICSTCC50638.2020.9259710, October 8 - 10, 2020, Sinaia, Romania.
5. BRAGARENCO, A.; MARUSIC, G.; CIUFUDEAN, C. Communication Chain in the Internet of Things with Spread-out Electronic Device System Abstraction. In: *Proceedings of the IEEE IEMTRONICS (International IOT, Electronics and Mechatronics Conference)* 2021, pp. 340-344. IEEE. DOI: 10.1109/IEMTRONICS52119.2021.9422565, Toronto, Canada, 21 - 24 April 2021
6. Moed, H. F. Applied Evaluative Informetrics. In *Qualitative and Quantitative Analysis of Scientific and Scholarly Communication*. Cham: Springer International Publishing, 2017. doi: 10.1007/978-3-319-60522-7.
7. XIA, W.; JIANG, Y.; CHEN, X.; ZHAO, R. Application of machine learning algorithms in municipal solid waste management: A mini review. *Waste Manag Res*, vol. 40, no. 6, pp. 609--624, Jun. 2022, doi: 10.1177/0734242X211033716.
8. HERBST, J. A Machine Learning Approach to Workflow Management. In *Machine Learning: ECML 2000*, vol. 1810, R. López de Mántaras and E. Plaza, Eds., in *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 1810. , Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2000, pp. 183--194. doi: 10.1007/3-540-45164-1_19.
9. Agricultural Robotics: A Technical Review Addressing Challenges in Navigation. MDPI, 2024. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2218-6581/14/2/9>
10. TomatoGuard-YOLO: A novel efficient tomato disease detection method. *Frontiers in Plant Science*, 2024. [Online]. Available: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2024.1499278/full>
11. ABABII, V.; SUDACEVSCHI, V.; CARBUNE, V.; MUNTEANU, S.; ALEXEI, V.; LASCO, V. A Method of Hardware Implementation of Membrane Computing Architectures for Mobile Robot Control. In *2022 International Conference on Development and Application Systems (DAS)*, Suceava, Romania: IEEE, May 2022, pp. 52--56. doi: 10.1109/DAS54948.2022.9786079.
12. Examining the Adoption of MQTT in Robotics And Automation. *Robotics and Automation News*, 2023. [Online]. Available: <https://roboticsandautomationnews.com/2023/10/03/examining-the-adoption-of-mqtt-in-robotics-and-automation/72652/>

ALGORITMI DE REGLARE A TEMPERATURII PENTRU BIOSINTEZA VITAMINEI B12

Iulia NAMOLOVAN,

Departamentul Ingineria Software și Automatică, TI-241M, Facultatea Calculatoare Informatică și
Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

*Autorul corespondent: Iulia NAMOLOVAN, iulia.berghii@isa.utm.md

Îndrumătorul/coordonatorul științific Dumitru MORARU, lect. univ., dr., dumitru.moraru@ati.utm.md,
Departamentul Ingineria Software și Automatică, Facultatea Calculatoare Informatică și
Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

Rezumat: În lucrare se analizează algoritmi de acordare a reguletoarelor tipizate la modelul obiectului a procesului de reglare a temperaturii de fermentație a vitaminei B12, care poate fi sintetizată exclusiv prin fermentarea unor bacterii specifice. Scopul lucrării a fost obținerea parametrilor diferitor tipuri de reguletoare Proporțional (P), Proporțional-Integrativ (PI), Proporțional-Derivativ (PD) și Proporțional- Integrativ-Derivativ (PID) acordate prin metodele Gradul Maximal de Stabilitate, Ziegler-Nichols și optimizarea parametrică. Sistemul automat de reglare a temperaturii a fost modelat în programul MATLAB, unde au fost obținute răspunsurile indiciale ale pentru sistemul cu diferite tipuri de reguletoare. Comparând rezultatele obținute s-a observat că metoda Gradul Maximal de Stabilitate a dat rezultate bune pentru sistemul cu regulator PI, iar metoda optimizării parametrice pentru sistemul cu regulator PID.

Cuvinte cheie: proces de fermentație, model matematic, algoritm de reglare, regulator automat.

Introducere

Vitamina B12 (cobalamina) este esențială pentru sinteza ADN-ului, formarea globulelor roșii și menținerea sănătății sistemului nervos. Deoarece organismul uman nu o poate sintetiza, vitamina B12 se obține prin fermentație bacteriană, utilizând microorganisme precum *Pseudomonas denitrificans*, *Propionibacterium freudenreichii* și *Streptomyces griseus*. Procesul de biosinteză necesită condiții stricte de temperatură (28–37°C, în funcție de bacterie), pH (6,8–7,2) și concentrație de oxigen (în funcție de natura aerobă sau anaerobă a bacteriei).

Algoritmii de reglare a temperaturii dezvoltati în cadrul prezentei lucrări sunt testați pentru un vas de laborator cu volum de 1 litru. Modelul matematic al procesului a fost descris utilizând o funcție de transfer de ordin întâi cu timp mort:

$$H(s) = e^{-\tau s} \frac{k}{Ts+1} = e^{-\tau s} \frac{b_0}{a_0s+a_1} = e^{-15s} \frac{20}{121s+1}, \quad (1)$$

unde k este coeficientul de transfer, T - constanta de timp, τ - timpul mort, iar b_0 , a_0 și a_1 sunt coeficienți generici [1].

În lucrarea dată se analizează sinteza reguletoarelor tipizate P, PI, PD, PID, după metoda gradului maximal de stabilitate, metoda Ziegler-Nichols și optimizarea parametrică.

Algoritmii de acordare a regulatorului

În studiu se utilizează schema structurală a sistemului automat, reprezentat în figura 1, alcătuită din regulator, care este descris cu funcția de transfer $H_R(s)$ și modelul obiectului de reglare cu funcția de transfer $H(s)$, iar $r(t)$ este semnalul de referință, $\varepsilon(t)$ - eroarea sistemului, $u(t)$ - mărimea de conducere, $y(t)$ - ieșirea sistemului [2].

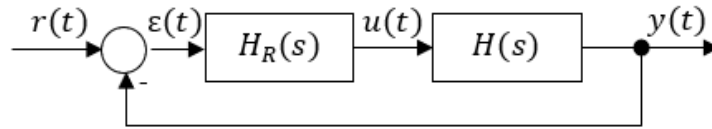


Figura 1. Schema bloc structurală a sistemului automat

În continuare se prezintă funcțiile de transfer a reguletoarelor tipizate P, PI, PD și PID:

$$H_P(s) = k_p, \quad (2)$$

$$H_{PI}(s) = k_p + \frac{1}{T_i s} = k_p + \frac{k_i}{s} = \frac{k_p s + k_i}{s}, \quad (3)$$

$$H_{PD}(s) = k_p + k_d s, \quad (4)$$

$$H_{PID}(s) = k_p + \frac{1}{T_i s} + T_d s = k_p + \frac{k_i}{s} + k_d s = \frac{k_d s^2 + k_p s + k_i}{s}, \quad (5)$$

unde k_p este coeficientul componentei proporționale, k_i – coeficientul componentei integrative și k_d – coeficientul componentei derivate.

Metoda Gradului Maximal de Stabilitate (GMS) utilizată pentru acordarea reguletoarelor tipice este ușor de implementat cunoscând doar modelul matematic al obiectului de reglare descris prin funcția de transfer (1) [1, 2, 5].

Pentru obținerea parametrilor optimali de acord pentru reguletoarele P, PI, PD, PID se prezintă sistemul de funcții ale parametrilor $k_p = f_p(J_o)$, $k_i = f_i(J_o)$, $k_d = f_d(J_o)$:

Pentru sistemul cu regulator P:

$$k_p = e^{-J_o \tau} \frac{-a_0 J_o + a_1}{b_0} = 0,131. \quad (6)$$

Pentru sistemul cu regulator PI:

$$k_p = e^{-J_o \tau} \frac{-a_0 J_o^2 \tau + J_o(2a_0 + a_1 \tau) - a_1}{b_0} = 0,1756, \quad (7)$$

$$k_i = k_p J_o - e^{-J_o \tau} \frac{a_0 J_o^2 - a_1 J_o}{b_0} = 0,00281. \quad (8)$$

Pentru sistemul cu regulator PD:

$$k_p = e^{-J_o \tau} \frac{-a_0 J_o + a_1}{b_0} + k_d J_o = 0,1988, \quad (9)$$

$$k_d = e^{-J_o \tau} \frac{(a_0 J_o \tau - a_0 - a_1 \tau)}{b_0} = 0,7231. \quad (10)$$

Pentru sistemul cu regulator PID:

$$k_p = 2J_o k_d + e^{-J_o \tau} \frac{-a_0 J_o^2 \tau + J_o(2a_0 + a_1 \tau) - a_1}{b_0} = 0,3076, \quad (11)$$

$$k_i = -J_o^2 k_d + J_o k_p - \frac{(a_0 J_o^2 - a_1 J_o) e^{-J_o \tau}}{b_0} = 0,00664, \quad (12)$$

$$k_d = -e^{-J_o \tau} \frac{a_0 J_o^2 \tau^2 - J_o(4a_0 \tau + a_1 \tau^2) + 2a_0 + 2a_1 \tau}{2b_0} = 1,1744. \quad (13)$$

Metoda Ziegler-Nichols este o metoda empirică de acordare a reguletoarelor care constă în stabilirea constantei de timp de integrare $T_i \rightarrow \infty$, și constantei de timp de derivare $T_d = 0$, iar coeficientul de proporționalitate k_p , este apoi crescut de la zero până când mărimea de ieșire $y(t)$ a sistemului intră într-un regim de oscilații întreținute, sistemul atinge limita de stabilitate [1,2].

Parametrii regimului critic al sistemului este valoarea coeficientului de transfer $k_{cr} = 0,672$ și perioada oscilațiilor neamortizate $T_{cr} = 56,77$ s sunt utilizați pentru determinarea parametrilor optimali de acord ai algoritmilor de reglare P, PI, PID [3].

Simularea pe calculator al sistemului automat

Pentru analiza sintezei regulatorului în cadrul sistemului de reglare a temperaturii pentru procesul de biosinteză a vitaminei B12, utilizând expresia (1) s-a simulat în programul MATLAB, componenta SIMULINK sistemul automat (figura 2).

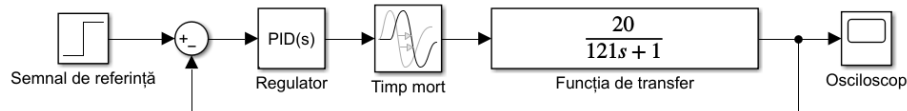


Figura 2. Schema bloc a sistemului automat simulată

În figura 3 sunt prezentate răspunsurile la aplicarea semnalului treaptă la intrarea sistemului de reglare a temperaturii pentru asigurarea unui proces de fermentare stabil, acordat după GMS. Numărul curbei indică numărul curent din tabelul 1.

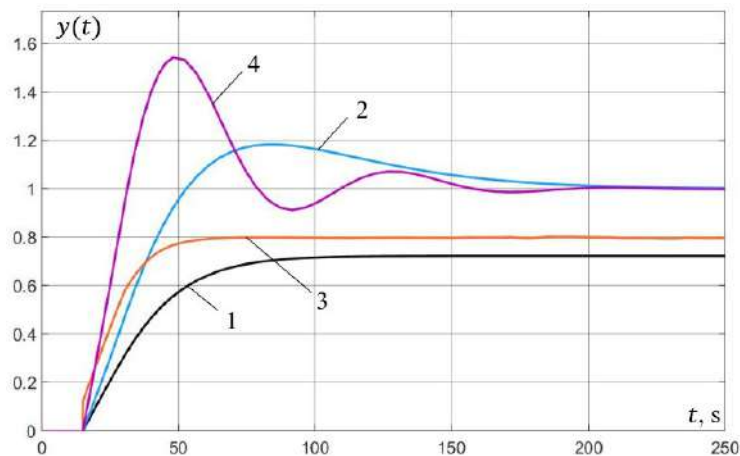


Figura 3. Răspunsurile indiciale ale sistemului automat acordat după GMS

În tabelul 1 sunt reprezentate parametrii regulatorului și performanțele sistemului automat acordat după metoda GMS.

Tabelul 1

Performanțele sistemului automat acordat după metoda GMS

Nr. crt.	Tip reg.	Parametrii regulatorului					Performanțele sistemului			
		J_o	k_p	k_i	T_i, s	k_d	t_c, s	$\sigma, \%$	t_r, s	n
1	P	0,0749	0,131	-	-		51,13	-	74,3	-
2	PI	0,0431	0,1756	0,00281	355,87		31,1	18,2	178	1
3	PD	0,1416	0,1988			0,7231	31,69	-	46,8	-
4	PID	0,0886	0,3076	0,00664	150,60	1,1744	30,6	54,3	165,52	3

Notă: J_o este gradul optimal de stabilitate, k_p, k_i, k_d – parametri de acord a regulatorului, T_i – perioada oscilației, t_c – timpul de creștere, σ – suprareglajul, t_r – timpul de reglare și n – numărul de abateri.

În figura 4 se reprezintă răspunsurile indiciale ale sistemului de reglare a temperaturii acordat după metoda Ziegler-Nichols (ZN) cu aplicarea optimizării parametrice (OP) pentru cazul regulatorului PID. Numărul curbei indică numărul curent din tabelul 2.

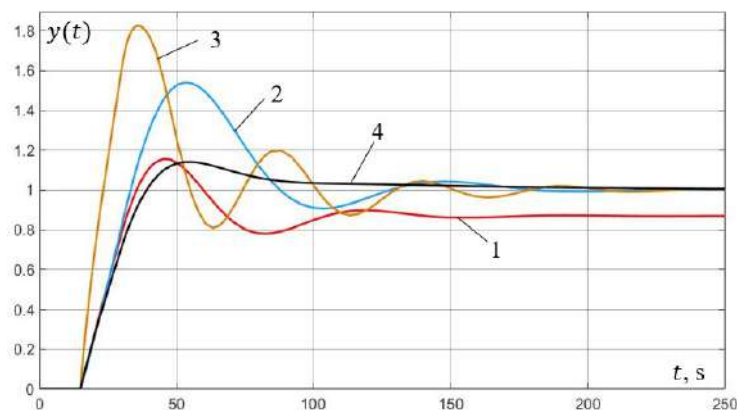


Figura 4. Răspunsurile indiciale ale sistemului automat acordat după ZN și OP

În tabelul 2 sunt reprezentate performanțele sistemului automat acordat după metoda ZN cu aplicarea optimizării parametrice pentru regulatorul PID.

Tabelul 2

Performanțele sistemului automat acordat după metoda ZN și OP

Nr. crt.	Metoda	Tip reg.	Parametrii regulatorului				Performanțele sistemului			
			k_p	k_i	T_i, s	k_d	t_c, s	$\sigma, \%$	t_r, s	n
1	ZN	P	0,336	-	-		16,55	15,6	127,58	2
2	ZN	PI	0,3024	0,00639	156,49		15,31	54	120,75	2
3	ZN	PID	0,4032	0,0142	70,42	2,859	7,24	82,5	140,21	4
4	OP	PID	0,2535	0,00288	347,22	0,4878	20,69	14,2	96,54	1

Notă: k_p , k_i , k_d – parametri de acord a regulatorului, T_i – perioada oscilației, t_c – timpul de creștere, σ – suprareglajul, t_r – timpul de reglare și n – numărul de abateri.

Concluzii

În rezultatul sintezei reguletoarelor P, PI, PD și PID după metodele Gradul Maximal de Stabilitate, Ziegler-Nichols și optimizarea parametrică, s-au obținut rezultate bune pentru cazul regulatorului PI, acordat după metoda GMS ($t_c = 45$ s și $t_r = 178$ s), iar cele mai bune rezultate s-au obținut pentru cazul sistemului cu regulator PID acordat aplicând optimizarea parametrică ($t_c = 20,69$ s și $t_r = 96,54$ s). În ambele cazuri suprareglajul nu depășește 20%. Este de menționat faptul că sistemul automat cu regulator P, PD, acordat după metoda GMS și ZN, nu pot fi utilizate din cauză prezenței erorii staționare mari, chiar dacă t_c și t_r sunt mai mici decât pentru reguletoarele cu componenta integratoare prezentă.

Bibliografie

1. IZVOREANU, B. *Teoria sistemelor automate. Manual*. Chișinău: Tehnica-UTM, 2022, 349 p. ISBN 978-9975-45-853-5.
2. MORARU, D. Synthesis of the Control Algorithm for Third-Order Object Models with Additional Zero and Time Delay. In: „Intellectus”, *Revistă de proprietate intelectuală, știință și educație*, 2023, No. 2. pp. 116-122, ISSN 1810-7087.
3. MHAWESH, M.A. Performance comparison between variants PID controllers and unity feedback control system for the response of the angular position of the DC motor. In: *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2021, 11(1), pp. 802-814.
4. MORARU, D.; FIODOROV, I.; IZVOREANU, B.; COJUHARI, I. Cascade control algorithm of the robotic arm's servomotor. In: *Journal Of Engineering Science*, 2024, 31(4), pp. 124 – 141, ISSN 2587-3482.
5. LAZĂR, C.; VRABIE, D.; CARARI, S. *Sisteme automate cu reguletoare PID*. București: Ed. MATRIX ROM, 2004. 225 p. ISBN 973-685-867-7.

SINTEZA REGULATORULUI LA MODELE DE OBIECTE CU UN ZEROU ȘI 1-4 POLI DUPĂ METODA POLINOMIALĂ

Iulia NAMOLOVAN^{1*}, Albina DONȚU²

¹Departamentul Ingineria Software și Automatică, mast. gr. TI-241M., FCIM, UTM, Chișinău, R. Moldova

²Departamentul Ingineria Software și Automatică, st. gr. AI-231, FCIM, UTM, Chișinău, R. Moldova

*Autorul corespondent: Iulia NAMOLOVAN, iulia.berghii@isa.utm.md

Coordonatorul științific Bartolomeu IZVOREANU, dr. șt. tehn., Departamentul Ingineria Software și Automatică, FCIM, UTM, Chișinău, R. Moldova

Rezumat: *Lucrarea se focusează pe procedura de acordare a regulatorului la modele de obiecte de conducere cu un zerou și 1-4 poli după metoda polinomială cu impunerea gradului de amortizare și timpului de reglare ale sistemului automat sintetizat. Polinoamele funcției de transfer ale obiectului se factorizează în componente simple, care conțin zerourile în partea stângă și partea dreaptă a planului complex. În baza gradului de amortizare și a timpului de reglare se determină polii dominanți ai sistemului sintetizat. Se construiește ecuația polinomială: partea stângă conține componentele instabile ale obiectului și două polinoame necunoscute și se include grad de astatism, iar partea dreaptă este polinomul caracteristic dorit al sistemului sintetizat, construit din polii dominanți și poli suplimentari pentru a satisface performanțele sistemului sintetizat. Din egalitatea obținută, prin egalarea coeficienților de pe lângă aceleași puteri ale variabilei s din partea stângă și partea dreaptă a egalității, se obține un sistem de ecuații algebrice, din care se determină coeficienții și polinoamele necunoscute. În baza componentelor modelului obiectului și polinoamelor necunoscute, se construiește funcția de transfer a regulatorului. S-au analizat 4 exemple de sinteză a regulatorului pentru modele de obiecte cu un zerou și 1-4 poli. Sistemele sintetizate au performanțe ridicate și robustețe bună.*

Cuvinte cheie: *modele de obiecte cu un zerou și 1-4 poli, sistem automat, parametrii de acord ai regulatorului, metode de acordare, răspunsul sistemului, performanțele sistemului și robustețe.*

Introducere

Pentru conducerea automată cu diverse obiecte tehnice, procese industriale și tehnologice, dinamica acestora se descriu cu modele matematice, care se cu funcții de transfer (f.d.t.) cu parametrii constanți. În funcție de proprietățile proceselor, modelele matematice atașate acestor procese vor avea structura respectivă și ordinul corespunzător.

Există o varietate de obiecte tehnice (automobilul, aparatul cosmic, telescopul, plotterul, laserul, liftul, electrodu reactorului nuclear, acționări liniare etc. [1-4]) și procese tehnologice [1, 2, 4] se descriu cu funcții de transfer cu anticipație și inerție de gradul $n = 1, 2, 3, 4$ de forma:

$$H_1(s) = \frac{b_0s + b_1}{a_0s + a_1} = \frac{B(s)}{A(s)}, \quad (1)$$

$$H_2(s) = \frac{b_0s + b_1}{a_0s^2 + a_1s + a_2} = \frac{B(s)}{A(s)}, \quad (2)$$

$$H_3(s) = \frac{b_0s + b_1}{a_0s^3 + a_1s^2 + a_2s + a_3} = \frac{B(s)}{A(s)}, \quad (3)$$

$$H_4(s) = \frac{b_0s + b_1}{a_0s^4 + a_1s^3 + a_2s^2 + a_3s + a_4} = \frac{B(s)}{A(s)}, \quad (4)$$

în care $B(s)$ este polinomul zerourilor (acelerează procesul), $A(s)$ – polinomul polilor care

exprimă proprietățile interne ale procesului (inerția procesului) și $b_0, b_1, a_0, a_1, a_2, a_3, a_4$ sunt coeficienții polinoamelor respective.

Pentru modelele (1)-(4) există metode de acordare a regulatorului ca metoda poli-zerouri, metode frecvențiale, metoda criteriilor integrale etc., însă aplicarea acestor metode conduc la calcule laborioase pentru determinarea performanțelor dorite [1-4]. Metoda poli-zerouri nu se aplică pentru aceste tipuri de modele de obiecte de reglare (existența anticipației – un zerou).

În lucrare se expune algoritmul de sinteza a regulatorului la modele (1)-(4) după metoda polinomială, pentru care sistemul automat să posede performanțe și robustețe ridicate.

Algoritmi de sinteză a regulatorului

În studiu se utilizează structura sistemului automat (Fig. 1), alcătuită din regulatorul descris de f.d.t. $H_R(s)$ și modelul obiectului de conducere cu f.d.t. $H(s)$, unde $r(t)$ este semnalul de referință, $\varepsilon(t)$ - eroarea sistemului, $u(t)$ – mărimea de conducere, $y(t)$ – ieșirea sistemului.

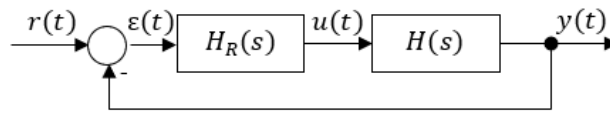


Figura 1. Structura sistemului automat

Sistemul automat cu factorul de amortizare $\xi = \sqrt{2}/2 = 0.707$ posedă dinamica cu cele mai ridicate performanțe [1, 3, 4]. Pentru aplicarea metodei propuse este necesar de a impune performanțele sistemului gradul de amortizare $\xi = 0.707$ și 0.8 și timpul de reglare t_r .

În baza gradul de amortizare ξ și timpul de reglare t_r se calculează pulsația naturală ω_n și polii dominanți $p_{1,2}$ ai sistemului automat sintetizat conform relațiilor [1, 3, 4]:

$$\omega_n = \frac{4}{\xi t_r} = \frac{4}{0.707 t_r}, \quad (5)$$

$$p_{1,2} = -\xi \omega_n \pm j \omega_n \sqrt{1 - \xi^2} = -\alpha \pm j \omega \quad (6)$$

cu $\alpha = \xi \omega_n$ – partea reală și $\omega = \omega_n \sqrt{1 - \xi^2}$ - partea imaginară a rădăcinii (pulsația de stingere).

În baza Ec. (6) se construiește polinomul caracteristic dorit $G(s)$ de gradul $q = 2 + k$ al sistemului închis cu cei doi poli dominanți și k poli suplimentari:

$$G(s) = (s + \alpha + j\omega)(s + \alpha - j\omega)(s + 30)^k = (s^2 + 2\alpha s + \alpha^2 + \omega^2)(s + p_k)^k, \quad (7)$$

în care k este numărul polilor p_k suplimentari care se alocă pe semiaxa negativă reală la distanța de 5-10 ori mai departe ca polii dominanți pentru a satisface condițiile de realizabilitate fizică a regulatorului și asigurarea performanțelor sistemului construit.

În acord cu metoda polinomială f.d.t. a obiectului de reglare (1)-(4) se descrie în forma factorizată în componente de forma [5, 6]:

$$H(s) = \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{B^-(s)B^+(s)}{A^-(s)A^+(s)}, \quad (7)$$

unde $B^-(s)$ și $A^-(s)$ sunt polinoame cu zerourile alocate în semiplanul stâng al planului complex (stabile), iar $B^+(s)$ și $A^+(s)$ - polinoame cu zerourile alocate în semiplanul drept al planului complex (instabile) al rădăcinilor. Când polinoamele $B(s)$ și $A(s)$ nu conțin zerouri de stânga, atunci polinoamele $B^-(s)$, $A^-(s)$ se egalează cu constante, iar în cazul când polinoamele $B(s)$ și $A(s)$ nu conțin zerouri de dreapta, atunci polinoamele $B^+(s)$, $A^+(s)$ sunt egale cu unitate. Se introduc notațiile gradelor polinoamelor respective: n_{B^-} , n_{B^+} , n_{A^-} , n_{A^+} , $n_A = n$ ($n = 1, 2, 3, 4$) – ordinul modelului (1)-(4).

Se construiește ecuația polinomială a sistemului sintetizat ca egalitate de forma:

$$B^+(s)M(s) + A^+(s)N(s)s^r = G(s), \quad (8)$$

unde partea stângă a egalității include componentele instabile ale modelului obiectului de reglare, polinoamele $M(s)$ și $N(s)$ cu coeficienții necunoscuți care se vor determina și componenta s^r care introduce astatism de gradul r în structura sistemului automat pentru a reduce eroarea staționară $\varepsilon = 0$ a sistemului, iar partea dreaptă a egalității $G(s)$ este polinomul caracteristic al sistemului sintetizat. Se notează gradele polinoamelor $G(s)$, $M(s)$ și $N(s)$ cu simbolurile n_G , n_M , n_N .

Dacă în structura modelului obiectului de reglare există astatism, atunci în Ec. (8) gradul de astatism $r = 0$.

Pentru o structură mai simplă a regulatorului sintetizat se impun cele mai reduse valori ale gradelor n_M, n_N polinoamelor necunoscute din condițiile ca sistemul de ecuații algebrice construit să satisfacă condiția de soluționare, realizabilitatea fizică a regulatorului și robustețea sistemului exprimate în forma relațiilor:

$$n_G \leq n_M + n_N + 1, n_{A^-} + n_M \leq n_{B^-} + n_N + r, n_G = n_{A^+} + n_N + r, \quad (9)$$

Sistemul (9) are soluție, când gradul n_G polinomului caracteristic $G(s)$ satisface condiția:

$$n_G - n_A \geq n_{A^+} + r - n_{B^-} - 1, \quad (10)$$

din care se calculează gradul polinomului n_G .

În Ec. (8) se substituie $G(s)$ cu (7) și se obține egalitatea:

$$B^+(s)M(s) + A^+(s)N(s)s^r = (s^2 + 2\alpha s + \alpha^2 + \omega^2)(s + p_k)^k, \quad (11)$$

din care se construiește sistemul de ecuații algebrice, obținut prin egalarea coeficienților de pe lângă aceleași puteri ale variabilei s din ambele părți ale egalității și se calculează coeficienții polinoamelor $M(s)$ și $N(s)$.

Funcția de transfer a regulatorului se construiește din componentele stabile ale modelului obiectului de reglare și polinoamele necunoscute $M(s)$ și $N(s)$ în forma:

$$H_R(s) = \frac{A^-(s)M(s)}{B^-(s)N(s)s^r} = \frac{Q(s)}{P(s)} = \frac{q_0s^m + q_1s^{m-1} + \dots + q_{m-1}s + q_m}{(p_0s^n + p_1s^{n-1} + \dots + p_{n-1}s + p_n)s^r}, m_Q \leq n_P, \quad (13)$$

unde $Q(s)$ și $P(s)$ sunt polinoamele de gradele respective cu coeficienții determinați și condiția de realizabilitate fizică a algoritmului de conducere [7-10].

Aplicații și simulare pe calculator

Metodologia sintezei regulatorului la modelul obiectului (1)-(4) se demonstrează prin calculul și analiza exemplelor 1-4.

Exemplul 1. Se consideră f.d.t. a obiectului de reglare (1) de ordinul $n = 1$ cu parametrii cunoscuți $b_0 = 0.6$, $b_1 = 3$, $a_0 = 15$, $a_1 = 1$ descris în forma:

$$H_1(s) = \frac{b_0s + b_1}{a_0s + a_1} = \frac{0.6s + 3}{15s + 1} = \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{B^-(s)B^+(s)}{A^-(s)A^+(s)}$$

cu $B^-(s) = b_0s + b_1 = 0.6s + 3$, $B^+(s) = 1$, $A^-(s) = a_0s + a_1 = 15s + 1$, $A^+(s) = 1$ și cu gradele $n_{B^-} = 1$, $n_{B^+} = 0$, $n_{A^-} = 1$, $n_{A^+} = 0$, $n_A = n = 1$.

Se cere: Pentru factorul de amortizare $\xi = 0.707$, timpul de reglare $t_r = 1$ s și eroarea staționară $\varepsilon = 0$ a sistemului să se sintetizeze regulatorul la modelul obiectului (1) după metoda polinomială.

Soluția 1. Utilizând factorul de amortizare $\xi = 0.707$ și timpul de reglare $t_r = 1$ s, se calculează din Ec. (5) pulsația naturală ω_n a sistemului automat:

$$\omega_n = \frac{4}{\xi t_r} = \frac{4}{0.707 \cdot 1} = 5.6577 \text{ s}^{-1}.$$

Din Ec. (6) se determină polii dominanți ai ecuației caracteristice a sistemului închis sintetizat:

$$p_{1,2} = -\xi\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\xi^2} = -\alpha \pm j\omega = -0.707 \cdot 5.6577 \pm j5.6577 \cdot 0.707 = -4 \pm j4.$$

Din a treia condiție din (9), la gradele minimale ale lui $n_M = 0$, $n_N = 1$ și gradul de astatism $r = 1$, se determină gradul polinomului dorit: $n_G = n_{A^+} + n_N + r = 0 + 1 + 1 = 2$, iar polinoamele necunoscute se descriu $M(s) = m_0$, $N(s) = n_0s + n_1$ și se construiește ecuația polinomială a sistemului sintetizat (11):

$$B^+(s)M(s) + A^+(s)N(s)s^r = 1 \cdot m_0 + 1 \cdot (n_0s + n_1)s = n_0s^2 + n_1s + m_0 = G(s) \quad (*)$$

Se construiește polinomul caracteristic al sistemului închis Ec. (7) cu cei doi poli dominanți cu gradul $n_G = 2$:

$$G(s) = (s + 4 + j4)(s + 4 - j4) = s^2 + 8s + 32. \quad (**)$$

În expresia (*) se substituie $G(s)$ din (**) și se obține egalitatea:

$$n_0s^2 + n_1s + m_0 = s^2 + 8s + 32,$$

din care prin egalarea coeficienților de pe lângă aceleași puteri ale lui s din partea stângă și partea dreaptă ale egalității se determină valorile coeficienților $n_0 = 1$, $n_1 = 8$, $m_0 = 32$.

Deoarece modelul obiectului (1) nu conține astatism, atunci pentru a obține eroarea staționară $\varepsilon = 0$ a sistemului, se introduce astatism r în structura regulatorului sintetizat. Se determină funcția de transfer (f.d.t.) a regulatorului după relația (13) cu gradul de astatism $r = 1$ pentru factorul de amortizare $\xi = 0.707$, substituind în f.d.t. componentele respective determinate mai sus și se obține:

$$H_{R11}(s) = \frac{A^-(s)M(s)}{B^-(s)N(s)s^r} = \frac{m_0(a_0s + a_1)}{(b_0s + b_1)(n_0s + n_1)s} = \frac{32(15s+1)}{(0.6s+3)(s^2+8s)} = \frac{480s+32}{0.6s^3+7.8s^2+24s}.$$

Soluția 2. Utilizând factorul de amortizare $\xi = 0.8$ și timpul de reglare $t_r = 1$ s, se calculează din Ec. (5) pulsația naturală ω_n a sistemului automat:

$$\omega_n = \frac{4}{\xi t_r} = \frac{4}{0.8 \cdot 1} = 5 \text{ s}^{-1}.$$

Din Ec. (6) se determină polii dominanți ai ecuației caracteristice a sistemului închis sintetizat:

$$p_{1,2} = -\xi\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\xi^2} = -\alpha \pm j\omega = -0.8 \cdot 5 \pm j5 \cdot 0.6 = -4 \pm j3.$$

Din a treia condiție din (9), la gradele minimale ale lui $n_M = 0$, $n_N = 1$ și $r = 1$, se determină gradul polinomului dorit: $n_G = n_{A^+} + n_N + r = 0 + 1 + 1 = 2$, iar polinoamele necunoscute se descriu $M(s) = m_0$, $N(s) = n_0s + n_1$ și se construiește ecuația polinomială a sistemului sintetizat (11):

$$B^+(s)M(s) + A^+(s)N(s)s^r = 1 \cdot m_0 + 1 \cdot (n_0s + n_1)s = n_0s^2 + n_1s + m_0 = G(s) \quad (*)$$

Se construiește polinomul caracteristic al sistemului închis (7) cu cei doi poli dominanți cu gradul $n_G = 2$:

$$G(s) = (s + 4 + j3)(s + 4 - j3) = s^2 + 8s + 25. \quad (**)$$

În expresia (*) se substituie $G(s)$ din (**) și se obține egalitatea:

$$n_0s^2 + n_1s + m_0 = s^2 + 8s + 25,$$

din care prin egalarea coeficienților de pe lângă aceleași puteri ale lui s din partea stângă și partea dreaptă ale egalității se determină valorile coeficienților $n_0 = 1$, $n_1 = 8$, $m_0 = 25$.

Deoarece modelul (1) nu conține astatism, atunci pentru a obține eroarea staționară $\varepsilon = 0$ a sistemului se introduce astatism $r = 1$ în structura regulatorului sintetizat. Se determină funcția de transfer a regulatorului după relația (13) cu gradul de astatism $r = 1$ pentru factorul de amortizare $\xi = 0.8$, substituind componentele respective determinate mai sus și se obține:

$$H_{R12}(s) = \frac{A^-(s)M(s)}{B^-(s)N(s)s} = \frac{m_0(a_0s + a_1)}{(b_0s + b_1)(n_0s + n_1)s} = \frac{25(15s+1)}{(0.6s+3)(s^2+8s)} = \frac{375s+25}{0.6s^3+7.8s^2+24s}.$$

Exemplul 2. Se consideră f.d.t. a obiectului de reglare (2) de ordinul $n = 2$ cu parametrii cunoscuți $b_0 = 36$, $b_1 = 4$, $a_0 = 25$, $a_1 = 15$, $a_2 = 10$ descris în forma:

$$H_2(s) = \frac{b_0s + b_1}{a_0s^2 + a_1s + a_2} = \frac{3s + 4}{25s^2 + 15s + 10} = \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{B^-(s)B^+(s)}{A^-(s)A^+(s)}$$

cu $B^-(s) = b_0s + b_1 = 3s + 4$, $B^+(s) = 1$, $A^-(s) = a_0s^2 + a_1s + a_2 = 25s^2 + 15s + 10$,

$A^+(s) = 1$ și cu gradele $n_{B^-} = 1$, $n_{B^+} = 0$, $n_{A^-} = 2$, $n_{A^+} = 0$, $n_A = n = 2$.

Se cere: Pentru factorul de amortizare $\xi = 0.707$, timpul de reglare $t_r = 1$ s și eroarea staționară $\varepsilon = 0$ a sistemului să se acordeze regulatorul la modelul obiectului (2) după metoda polinomială.

Soluția 1. Utilizând factorul de amortizare $\xi = 0.707$ și timpul de reglare $t_r = 1$ s, se calculează din Ec. (5) pulsația naturală ω_n a sistemului automat:

$$\omega_n = \frac{4}{\xi t_r} = \frac{4}{0.707 \cdot 1} = 5.6577 \text{ s}^{-1}.$$

Din Ec. (6) se determină polii dominanți ai ecuației caracteristice a sistemului închis sintetizat:

$$p_{1,2} = -\xi\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\xi^2} = -\alpha \pm j\omega = -0.707 \cdot 5.6577 \pm j5.6577 \cdot 0.707 = -4 \pm j4.$$

Din a treia condiție din (9), la gradele minimale ale lui $n_M = 0$, $n_N = 1$ și $r = 1$, se determină gradul polinomului dorit: $n_G = n_{A^+} + n_N + r = 0 + 1 + 1 = 2$, iar polinoamele necunoscute se descriu $M(s) = m_0$, $N(s) = n_0s + n_1$ și se construiește ecuația polinomială a sistemului sintetizat (11):

$$B^+(s)M(s) + A^+(s)N(s)s^r = 1 \cdot m_0 + 1 \cdot (n_0s + n_1)s = n_0s^2 + n_1s + m_0 = G(s). \quad (*)$$

Se construiește polinomul caracteristic dorit al sistemului închis (7) cu cei doi poli dominanți cu gradul $n_G = 2$:

$$G(s) = (s + 4 + j4)(s + 4 - j4) = s^2 + 8s + 32. \quad (**)$$

În expresia (*) se substituie $G(s)$ din (**) și se obține egalitatea:

$$n_0s^2 + n_1s + m_0 = s^2 + 8s + 32,$$

din care prin egalarea coeficienților de pe lângă aceleași puteri ale lui s din partea stângă și partea dreaptă ale egalității se determină valorile coeficienților $n_0 = 1$, $n_1 = 8$, $m_0 = 32$.

Deoarece modelul (2) nu conține astatism, atunci pentru a obține eroarea staționară $\varepsilon = 0$ a sistemului se introduce astatism în structura regulatorului sintetizat. Se determină funcția de transfer a regulatorului după relația (13) cu gradul de astatism $r = 1$ pentru factorul de amortizare $\xi = 0.707$, substituind componentele respective determinate mai sus și se obține:

$$H_{R21}(s) = \frac{A^-(s)M(s)}{B^-(s)N(s)s} = \frac{m_0(a_0s^2 + a_1s + a_2)}{(b_0s + b_1)(n_0s + n_1)s} = \frac{32(25s^2 + 15s + 10)}{(3s + 4)(s^2 + 8s)} = \frac{800s^2 + 480s + 320}{3s^3 + 28s^2 + 32s}.$$

Soluția 2. Utilizând factorul de amortizare $\xi = 0.8$ și timpul de reglare $t_r = 1$ s, se calculează din Ec. (5) pulsația naturală ω_n a sistemului automat:

$$\omega_n = \frac{4}{\xi t_r} = \frac{4}{0.8 \cdot 1} = 5 \text{ s}^{-1}.$$

Din Ec. (6) se determină polii dominanți ai ecuației caracteristice a sistemului închis sintetizat:

$$p_{1,2} = -\xi\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\xi^2} = -\alpha \pm j\omega = -0.8 \cdot 5 \pm j5 \cdot 0.6 = -4 \pm j3.$$

Din a treia condiție din (9), la gradele minimale ale lui $n_M = 0$, $n_N = 1$ și $r = 1$, se determină gradul polinomului dorit: $n_G = n_{A^+} + n_N + r = 0 + 1 + 1 = 2$, iar polinoamele necunoscute se descriu $M(s) = m_0$, $N(s) = n_0s + n_1$ și se construiește ecuația polinomială a sistemului sintetizat (11):

$$B^+(s)M(s) + A^+(s)N(s)s^r = 1 \cdot m_0 + 1 \cdot (n_0s + n_1)s = n_0s^2 + n_1s + m_0 = G(s). \quad (*)$$

Se construiește polinomul caracteristic dorit al sistemului închis (7) cu cei doi poli dominanți cu gradul $n_G = 2$:

$$G(s) = (s + 4 + j3)(s + 4 - j3) = s^2 + 8s + 25. \quad (**)$$

În expresia (*) se substituie $G(s)$ din (**) și se obține egalitatea:

$$n_0 s^2 + n_1 s + m_0 = s^2 + 8s + 25,$$

din care prin egalarea coeficienților de pe lângă aceleași puteri ale lui s din partea stângă și partea dreaptă ale egalității se determină valorile coeficienților $n_0 = 1, n_1 = 8, m_0 = 25$.

Deoarece modelul (2) nu conține astatism, atunci pentru a obține eroarea staționară $\varepsilon = 0$ a sistemului se introduce astatism în structura regulatorului sintetizat. Se determină funcția de transfer a regulatorului după relația (13) cu gradul de astatism $r = 1$ pentru factorul de amortizare $\xi = 0.8$ substituind componentele respective determinate mai sus și se obține:

$$H_{R22}(s) = \frac{A^-(s)M(s)}{B^-(s)N(s)s} = \frac{m_0(a_0 s^2 + a_1 s + a_2)}{(b_0 s + b_1)(n_0 s + n_1)s} = \frac{25(25s^2 + 15s + 10)}{(3s + 4)(s^2 + 8s)} = \frac{625s^2 + 375s + 250}{3s^3 + 28s^2 + 32s}.$$

Exemplul 3. Se consideră f.d.t. a obiectului de reglare (3) de ordinul $n = 3$ cu parametrii cunoscuți $b_0 = 5, b_1 = 6, a_0 = 30, a_1 = 20, a_2 = 25, a_3 = 8$ descris în forma:

$$H_3(s) = \frac{b_0 s + b_1}{a_0 s^3 + a_1 s^2 + a_2 s + a_3} = \frac{5s + 6}{30s^3 + 20s^2 + 25s + 8} = \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{B^-(s)B^+(s)}{A^-(s)A^+(s)}$$

cu $B^-(s) = b_0 s + b_1 = 5s + 6, B^+(s) = 1, A^-(s) = a_0 s^3 + a_1 s^2 + a_2 s + a_3 = 30s^3 + 20s^2 +$

$+25s + 8, A^+(s) = 1$ și cu gradele $n_{B^-} = 1, n_{B^+} = 0, n_{A^-} = 3, n_{A^+} = 0, n_A = n = 3$.

Se cere: Pentru factorul de amortizare $\xi = 0.707$, timpul de reglare $t_r = 1$ s și eroarea staționară $\varepsilon = 0$ a sistemului să se acordeze regulatorul la modelul obiectului (3) după metoda polinomială.

Soluția 1. Utilizând factorul de amortizare $\xi = 0.707$ și timpul de reglare $t_r = 1$ s, se calculează din Ec. (5) pulsația naturală ω_n a sistemului automat:

$$\omega_n = \frac{4}{\xi t_r} = \frac{4}{0.707 \cdot 1} = 5.6577 \text{ s}^{-1}.$$

Din Ec. (6) se determină polii dominanți ai ecuației caracteristice a sistemului închis sintetizat:

$$p_{1,2} = -\xi\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1 - \xi^2} = -\alpha \pm j\omega = -0.707 \cdot 5.6577 \pm j5.6577 \cdot 0.707 = -4 \pm j4.$$

Din a treia condiție din (9), la gradele minimale ale lui $n_M = 0, n_N = 1$ și $r = 1$, se determină gradul polinomului dorit: $n_G = n_{A^+} + n_N + r = 0 + 1 + 1 = 2$, iar polinoamele necunoscute se descriu $M(s) = m_0, N(s) = n_0 s + n_1$ și se construiește ecuația polinomială a sistemului sintetizat (11):

$$B^+(s)M(s) + A^+(s)N(s)s^r = 1 \cdot m_0 + 1 \cdot (n_0 s + n_1)s = n_0 s^2 + n_1 s + m_0 = G(s). \quad (*)$$

Se construiește polinomul caracteristic al sistemului închis (7) cu cei doi poli dominanți cu gradul $n_G = 2$:

$$G(s) = (s + 4 + j4)(s + 4 - j4) = s^2 + 8s + 32. \quad (**)$$

În expresia (*) se substituie $G(s)$ din (**) și se obține egalitatea:

$$n_0 s^2 + n_1 s + m_0 = s^2 + 8s + 32,$$

din care, prin egalarea coeficienților de pe lângă aceleași puteri ale lui s din partea stângă și partea dreaptă ale egalității, se determină valorile coeficienților $n_0 = 1, n_1 = 8, m_0 = 32$.

Deoarece modelul (3) nu conține astatism, atunci pentru a obține eroarea staționară $\varepsilon = 0$ a sistemului se introduce astatism în structura regulatorului sintetizat. Se determină funcția de transfer a regulatorului după relația (13) cu gradul de astatism $r = 1$ pentru factorul de amortizare

$\xi = 0.707$ substituind componentele respective determinate mai sus și se obține:

$$H_{R31}(s) = \frac{A^-(s)M(s)}{B^-(s)N(s)s^r} = \frac{m_0(a_0s^3 + a_1s^2 + a_2s + a_3)}{(b_0s + b_1)(n_0s + n_1)s} = \frac{32(30s^3 + 20s^2 + 25s + 8)}{(5s + 6)(s^2 + 8s)} = \frac{960s^3 + 640s^2 + 800s + 256}{5s^3 + 46s^2 + 48s}.$$

Soluția 2. Utilizând factorul de amortizare $\xi = 0.8$ și timpul de reglare $t_r = 1$ s, se calculează din Ec. (5) pulsația naturală ω_n a sistemului automat:

$$\omega_n = \frac{4}{\xi t_r} = \frac{4}{0.8 \cdot 1} = 5 \text{ s}^{-1}.$$

După Ec. (6) se determină polii dominanți ai ecuației caracteristice a sistemului închis sintetizat:

$$p_{1,2} = -\xi\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1 - \xi^2} = -\alpha \pm j\omega = -0.8 \cdot 5 \pm j5 \cdot 0.6 = -4 \pm j3.$$

Din a treia condiție din (9), la gradele minimale ale lui $n_M = 0$, $n_N = 1$ și $r = 1$, se determină gradul polinomului dorit: $n_G = n_{A^+} + n_N + r = 0 + 2 + 1 = 2$, iar polinoamele necunoscute se descriu $M(s) = m_0$, $N(s) = n_0s + n_1$ și se construiește ecuația polinomială a sistemului sintetizat (11):

$$B^+(s)M(s) + A^+(s)N(s)s^r = 1 \cdot m_0 + 1 \cdot (n_0s + n_1)s = n_0s^2 + n_1s + m_0 = G(s). \quad (*)$$

Se construiește polinomul caracteristic cu gradul $n_G = 2$ al sistemului închis (7) cu cei doi poli dominanți:

$$G(s) = (s + 4 + j3)(s + 4 - j3) = s^2 + 8s + 25. \quad (**)$$

În expresia (*) se substituie $G(s)$ din (**) și se obține egalitatea:

$$n_0s^2 + n_1s + m_0 = s^2 + 8s + 25,$$

din care prin egalarea coeficienților de pe lângă aceleași puteri ale lui s din partea stângă și partea dreaptă ale egalității se determină valorile coeficienților $n_0 = 1$, $n_1 = 8$, $m_0 = 25$.

Deoarece modelul obiectului (3) nu conține astatism, atunci pentru a obține eroarea staționară $\varepsilon = 0$ a sistemului se introduce astatism $r = 1$ în structura regulatorului sintetizat. Se determină funcția de transfer a regulatorului după relația (13) cu gradul de astatism $r = 1$ pentru factorul de amortizare $\xi = 0.8$ substituind componentele respective determinate mai sus și se obține:

$$H_{R32}(s) = \frac{A^-(s)M(s)}{B^-(s)N(s)s^r} = \frac{m_0(a_0s^3 + a_1s^2 + a_2s + a_3)}{(b_0s + b_1)(n_0s + n_1)s} = \frac{25(30s^3 + 20s^2 + 25s + 8)}{(5s + 6)(s^2 + 8s)} = \frac{750s^3 + 500s^2 + 625s + 200}{5s^3 + 46s^2 + 48s}.$$

Exemplul 4. Se consideră f.d.t. a obiectului de reglare (4) de ordinul $n = 4$ cu parametrii cunoscuți $b_0 = 4$, $b_1 = 8$, $a_0 = 35$, $a_1 = 20$, $a_2 = 25$, $a_3 = 15$, $a_4 = 6$ descris în forma:

$$H_4(s) = \frac{b_0s + b_1}{a_0s^4 + a_1s^3 + a_2s^2 + a_3s + a_4} = \frac{4s + 8}{35s^4 + 20s^3 + 25s^2 + 15s + 6} = \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{B^-(s)B^+(s)}{A^-(s)A^+(s)}$$

cu $B^-(s) = b_0s + b_1 = 4s + 8$, $B^+(s) = 1$, $A^-(s) = a_0s^4 + a_1s^3 + a_2s^2 + a_3s + a_4 = 35s^4 + 20s^3 + 25s^2 + 15s + 6$, $A^+(s) = 1$ și cu gradele $n_{B^-} = 1$, $n_{B^+} = 0$, $n_{A^-} = 4$, $n_{A^+} = 0$, $n_A = n = 4$.

Se cere: Pentru factorul de amortizare $\xi = 0.707$, timpul de reglare $t_r = 1$ s și eroarea staționară $\varepsilon = 0$ a sistemului să se acordeze regulatorul la modelul obiectului (4) după metoda polinomială.

Soluția 1. Utilizând factorul de amortizare $\xi = 0.707$ și timpul de reglare $t_r = 1$ s, se calculează din Ec. (5) pulsația naturală ω_n a sistemului automat:

$$\omega_n = \frac{4}{\xi t_r} = \frac{4}{0.707 \cdot 1} = 5.6577 \text{ s}^{-1}.$$

Din Ec. (6) se determină polii dominanți ai ecuației caracteristice a sistemului închis sintetizat:

$$p_{1,2} = -\xi\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1 - \xi^2} = -\alpha \pm j\omega = -0.707 \cdot 5.6577 \pm j5.6577 \cdot 0.707 = -4 \pm j4.$$

Din a treia condiție din (9), la gradele minimale ale lui $n_M = 0$, $n_N = 2$ și $r = 1$, se determină gradul polinomului dorit: $n_G = n_{A^+} + n_N + r = 0 + 2 + 1 = 3$, iar polinoamele

necunoscute se descriu $M(s) = m_0$, $N(s) = n_0s^2 + n_1s + n_2$ și se construiește ecuația polinomială a sistemului sintetizat (11):

$$\begin{aligned} B^+(s)M(s) + A^+(s)N(s)s^r &= 1 \cdot m_0 + 1 \cdot (n_0s^2 + n_1s + n_2)s = \\ &= n_0s^3 + n_1s^2 + n_2s + m_0. \end{aligned} \quad (*)$$

Se construiește polinomul caracteristic al sistemului închis (7) cu cei doi poli dominanți și un pol suplimentar $p_3 = -30$ de gradul $n_G = 3$:

$$\begin{aligned} G(s) &= (s + 4 + j4)(s + 4 - j4)(s + 30) = (s^2 + 8s + 32)(s + 30) = \\ &= s^3 + 38s^2 + 272s + 960. \end{aligned} \quad (**)$$

În expresia (*) se substituie $G(s)$ din (**) și se obține egalitatea:

$$n_0s^3 + n_1s^2 + n_2s + m_0 = s^3 + 38s^2 + 272s + 960,$$

din care, prin egalarea coeficienților de pe lângă aceleași puteri ale lui s din partea stângă și partea dreaptă ale egalității, se determină valorile coeficienților $n_0 = 1$, $n_1 = 38$, $n_2 = 272$, $m_0 = 960$.

Deoarece modelul (4) nu conține astatism, atunci pentru a obține eroarea staționară $\varepsilon = 0$ a sistemului se introduce astatism în structura regulatorului sintetizat. Se determină funcția de transfer a regulatorului după relația (13) cu gradul de astatism $r = 1$ pentru factorul de amortizare $\xi = 0.707$, substituind componentele respective determinate mai sus și se obține:

$$\begin{aligned} H_{R41}(s) &= \frac{A^-(s)M(s)}{B^-(s)N(s)s^r} = \frac{m_0(a_0s^4 + a_1s^3 + a_2s^2 + a_3s + a_4)}{(b_0s + b_1)(n_0s^2 + n_1s + n_2)s} = \frac{960(35s^4 + 20s^3 + 25s^2 + 15s + 6)}{(4s + 8)(s^2 + 38s + 272)s} = \\ &= \frac{33600s^4 + 19200s^3 + 24000s^2 + 14400s + 5760}{4s^4 + 160s^3 + 1392s^2 + 2176s}. \end{aligned}$$

Soluția 2. Utilizând factorul de amortizare $\xi = 0.8$ și timpul de reglare $t_r = 1$ s, se calculează din Ec. (5) pulsația naturală ω_n a sistemului automat:

$$\omega_n = \frac{4}{\xi t_r} = \frac{4}{0.8 \cdot 1} = 5 \text{ s}^{-1}.$$

Din Ec. (6) se determină polii dominanți ai ecuației caracteristice a sistemului închis sintetizat:

$$p_{1,2} = -\xi\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1 - \xi^2} = -\alpha \pm j\omega = -0.8 \cdot 5 \pm j5 \cdot 0.6 = -4 \pm j3.$$

Din a treia condiție din (9), la gradele minimale ale lui $n_M = 0$, $n_N = 2$ și $r = 1$, se determină gradul polinomului dorit: $n_G = n_{A^+} + n_N + r = 0 + 2 + 1 = 3$, iar polinoamele necunoscute se descriu $M(s) = m_0$, $N(s) = n_0s^2 + n_1s + n_2$ și se construiește ecuația polinomială a sistemului sintetizat (11):

$$\begin{aligned} B^+(s)M(s) + A^+(s)N(s)s^r &= 1 \cdot m_0 + 1 \cdot (n_0s^2 + n_1s + n_2)s = \\ &= n_0s^3 + n_1s^2 + n_2s + m_0. \end{aligned} \quad (*)$$

Se construiește polinomul caracteristic al sistemului închis (7) cu cei doi poli dominanți și un pol suplimentar $p_3 = -30$ de gradul $n_G = 3$:

$$\begin{aligned} G(s) &= (s + 4 + j4)(s + 4 - j4)(s + 30) = (s^2 + 8s + 25)(s + 30) = \\ &= s^3 + 38s^2 + 265s + 750. \end{aligned} \quad (**)$$

În expresia (*) se substituie $G(s)$ din (**) și se obține egalitatea:

$$n_0s^3 + n_1s^2 + n_2s + m_0 = s^3 + 38s^2 + 265s + 750,$$

din care prin egalarea coeficienților de pe lângă aceleași puteri ale lui s din partea stângă și partea dreaptă ale egalității se determină valorile coeficienților $n_0 = 1$, $n_1 = 38$, $n_2 = 265$, $m_0 = 750$.

Deoarece modelul obiectului de reglare (4) nu conține astatism, atunci pentru a obține eroarea staționară $\varepsilon = 0$ a sistemului automat se introduce astatism în structura regulatorului sintetizat. Se determină funcția de transfer a regulatorului după relația (13) cu gradul de

astatism $r = 1$ pentru factorul de amortizare $\xi = 0.8$ substituind componentele respective determinate mai sus și se obține:

$$H_{R42}(s) = \frac{A^-(s)M(s)}{B^-(s)N(s)s^r} = \frac{m_0(a_0s^4 + a_1s^3 + a_2s^2 + a_3s + a_4)}{(b_0s + b_1)(n_0s^2 + n_1s + n_2)s} = \frac{750(35s^4 + 20s^3 + 25s^2 + 15s + 6)}{(4s + 8)(s^2 + 38s + 265)s} = \frac{26250s^4 + 15000s^3 + 18750s^2 + 11250s + 4500}{4s^4 + 160s^3 + 1364s^2 + 2120s}.$$

Sistemele automate cu modelele obiectelor de reglare (1)-(4) și cu regulatoarele sintetizate s-au simulat pe calculator și răspunsurile indiciale $h(t)$ ale sistemelor automate la semnal treaptă unitară $1(t)$ sunt date în Fig. 2 (pentru $\xi = 0.707, t_r = 1$ s) și în Fig. 3 (pentru $\xi = 0.8, t_r = 1$ s), iar performanțele sunt date în Tab. 1 și Tab. 2 respectiv. Numerotarea răspunsurilor indiciale $h(t)$ ale sistemelor automate din Fig. 2 și din Fig. 3 corespunde ordinului modelului obiectului de reglare din Tab. 1 și Tab. 2.

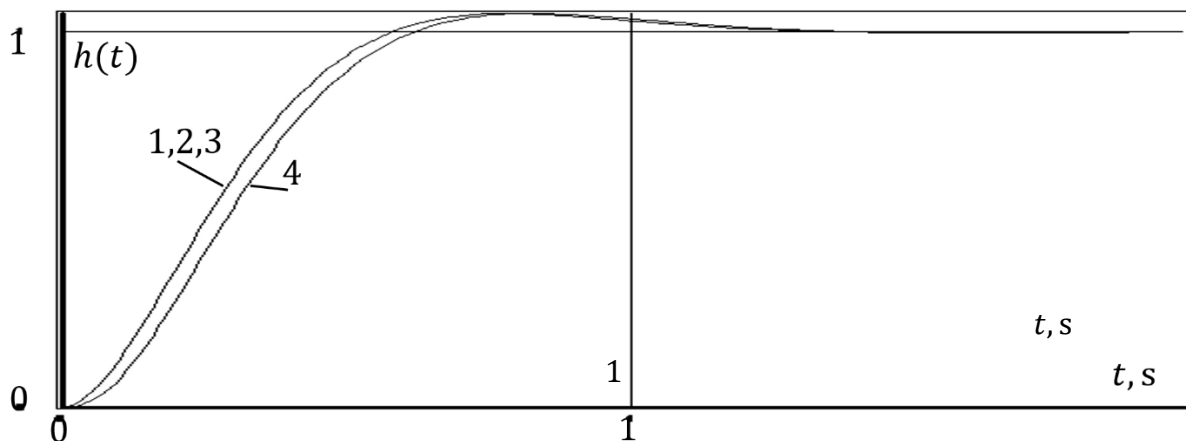


Figura 2. Răspunsurile indiciale ale sistemului automat cu modelele (1)-(4) ($\xi = 0.707, t_r = 1$ s)

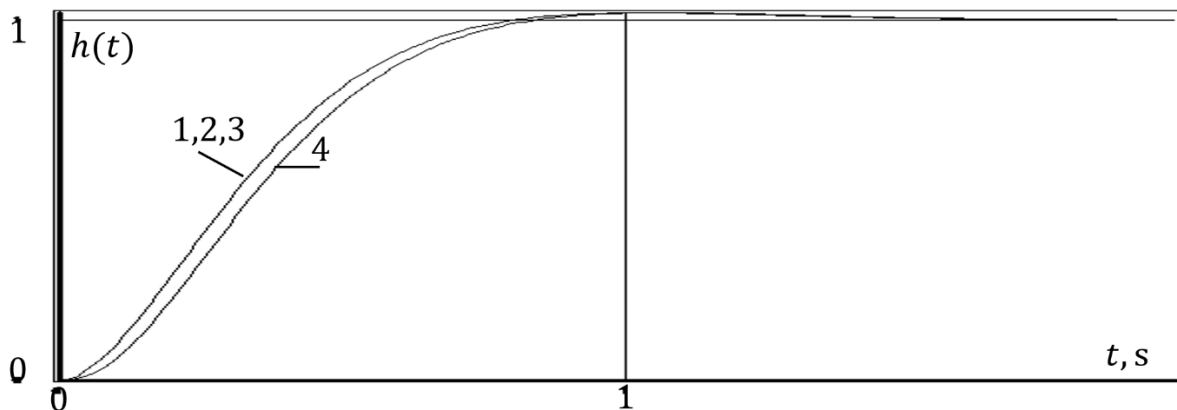


Figura 3. Răspunsurile indiciale ale sistemului automat cu modelele (1)-(4) ($\xi = 0.8, t_r = 1$ s)

Tabelul 1

Performanțele sistemului ($\xi = 0.707, t_r = 1$ s)

Ordinul modelului	Performanțele sistemului automat					
	$\epsilon, \%$	t_c, s	t_d, s	$d, \%$	t_r, s	n
1	5	0.51	0.78	4.86	0.51	1
2	5	0.51	0.78	4.86	0.51	1
3	5	0.51	0.78	4.86	0.51	1
4	5	0.55	0.82	4.87	0.55	1

Performanțele sistemului ($\xi = 0.8, t_r = 1 \text{ s}$)

Ordinul modelului	Performanțele sistemului automat					
	$\varepsilon, \%$	t_c, s	t_d, s	$d, \%$	t_r, s	n
1	5	0.66	1.03	1.88	0.66	1
2	5	0.66	1.03	1.88	0.66	1
3	5	0.66	1.03	1.88	0.66	1
4	5	0.70	1.07	1.92	0.7	1

În Tab. 1 și Tab. 2 sunt indicați indicii de calitate: eroarea staționară $\varepsilon = 0.05$ (5 %) din valoarea răspunsului indicial staționar, t_c - timpul de creștere (rapiditatea sistemului), t_d - timpul de atingere a suprareglării (valoarea maximă a răspunsului), d - suprareglarea, t_r - timpul de reglare, n - numărul abaterilor de la regimul staționar pe durata timpului de reglare.

4. Analiza rezultatelor obținute

În continuare, în baza sintezei funcției de transfer a regulatorului pentru modelele de obiecte de reglare (1)-(4), se determină funcțiile transfer ale sistemului deschis $H_d(s)$ și închis $H_0(s)$:

$$\begin{aligned}
 H_{d1}(s) &= H_{R1}(s)H_1(s) = \frac{m_0(a_0s+a_1)}{(b_0s+b_1)(n_0s+n_1)s} \frac{b_0s+b_1}{a_0s+a_1} = \frac{m_0}{s(n_0s+n_1)}, \\
 H_{01}(s) &= \frac{H_{R1}(s)H_1(s)}{1+H_{R1}(s)H_1(s)} = \frac{m_0}{s(n_0s+n_1)+m_0}, \\
 H_{d2}(s) &= H_{R2}(s)H_2(s) = \frac{m_0(a_0s^2+a_1s+a_2)}{(b_0s+b_1)(n_0s+n_1)s} \frac{b_0s+b_1}{a_0s^2+a_1s+a_2} = \frac{m_0}{s(n_0s+n_1)}, \\
 H_{02}(s) &= \frac{H_{R2}(s)H_2(s)}{1+H_{R2}(s)H_2(s)} = \frac{m_0}{s(n_0s+n_1)+m_0}, \\
 H_{d3}(s) &= H_{R3}(s)H_3(s) = \frac{m_0(a_0s^3+a_1s^2+a_2s+a_3)}{(b_0s+b_1)(n_0s+n_1)s} \frac{b_0s+b_1}{a_0s^3+a_1s^2+a_2s+a_3} = \frac{m_0}{s(n_0s+n_1)}, \\
 H_{03}(s) &= \frac{H_{R3}(s)H_3(s)}{1+H_{R3}(s)H_3(s)} = \frac{m_0}{s(n_0s+n_1)+m_0}, \\
 H_{d4}(s) &= H_{R4}(s)H_4(s) = \frac{m_0(a_0s^4+a_1s^3+a_2s^2+a_3s+a_4)}{(b_0s+b_1)(n_0s^2+n_1s+n_2)s} \frac{b_0s+b_1}{a_0s^4+a_1s^3+a_2s^2+a_3s+a_4} = \frac{m_0}{s(n_0s^2+n_1s+n_2)}, \\
 H_{04}(s) &= \frac{H_{R4}(s)H_4(s)}{1+H_{R4}(s)H_4(s)} = \frac{m_0}{s(n_0s^2+n_1s+n_2)+m_0}.
 \end{aligned}$$

Analiza răspunsurilor indiciale $h(t)$ ale sistemelor automate la semnal treaptă unitară din Fig. 1 și Fig. 2 și performanțele sistemelor automate din Tab. 1 și Tab. 2, se constată că sistemele automate cu modelele de obiecte (1)-(3) au aceleași performanțe și nu depind de ordinul modelului obiectului de reglare. Funcțiile de transfer echivalente $H_{01}(s) - H_{03}(s)$ ale sistemelor automate cu modelele de obiecte (1)-(3) sunt de ordinul doi și nu sunt funcție de ordinul modelului și sunt determinate numai de polii dominanți ai sistemului. Acest efect se explică prin compensarea polilor modelului obiectului de reglare cu zerourile introduse de regulatorul sintetizat.

Polinoamele $P(s)$ reglatoarelor sintetizate pentru modelele de obiecte (1)-(3) sunt de ordinul trei și nu depind de ordinul modelului obiectului de reglare, iar ordinul polinomului $P(s)$ a regulatorului pentru modelul obiectului (4) este egal cu ordinul modelului obiectului.

Proprietățile polinoamelor $M(s)$ și $N(s)$ se determină de proprietățile polinomului caracteristic dorit al sistemului sintetizat, care se calculează după polii dominanți și polii suplimentari.

Performanțele sistemelor automate, obținute la valorile inițiale ale parametrilor modelelor obiectelor de reglare (1)-(4), satisfac performanțele impuse sistemului la sinteza regulatorului.

Timpul de reglare pentru sistemele cu modelele (1)-(3) este mai redus aproximativ de două ori în raport cu cel impus.

Funcțiile de transfer echivalente $H_{01}(s) - H_{04}(s)$ ale sistemelor automate cu modelele de obiecte (1)-(4) sunt determinate de proprietățile polinoamelor $M(s)$ și $N(s)$, care sunt calculate după polii polinomului caracteristic al sistemului automat sintetizat.

Creșterea gradului de amortizare cu 13.15 % (de la 0.707 la 0.8) conduce la creșterea timpului de creștere t_c și timpul de reglare t_r cu 28-30 % și sistemul devine mai inert (lent) și se reduce și suprareglarea sistemului de 2.6 ori.

S-au variat parametrii modelului obiectului de reglare (3) cu ± 50 % de la valorile inițiale și sistemul automat s-a simulat pe calculator și performanțele sistemului modificat la eroarea staționară $\varepsilon = 5$ % sunt date în Tab. 3.

Din analiza performanțelor sistemului automat modificat s-a constatat:

1. la variația parametrului b_0 : cu creșterea lui valorile suprareglării și timpului de reglare cresc de două ori, iar la reducerea lui valorile suprareglării și timpului de reglare t_r cresc de 4 ori;
2. la variația parametrului b_1 : cu creșterea lui valoarea suprareglării crește aproximativ de 5 ori și timpul de reglare crește de 4 ori, iar cu reducerea lui răspunsul indical al sistemului este aperiodic cu timpul de reglare mai mare de 2.33 ori;
3. la variația parametrului a_0 : cu creșterea lui valoarea răspunsul indical al sistemului este oscilant amortizat lent cu performanțe reduse: suprareglarea crește aproximativ de 5 ori și timpul de reglare crește de 40 ori, iar cu reducerea lui își păstrează performanțele cu mici variații cu numărul de 6 oscilații;
4. la variația parametrului a_1 : cu creșterea lui valoarea suprareglării crește aproximativ de 2 ori și timpul de reglare crește de 16 ori cu 1-2 oscilații, iar la reducerea lui suprareglarea este mai mare de 2.4 ori și timpul de reglare este mai mare de 6.51 ori;
5. la variația parametrului a_2 : creșterea și reducerea lui suprareglarea crește aproximativ mai mare de 2 ori și timpul de reglare crește de 13 ori cu 1-2 oscilații;
6. la variația parametrului a_3 : la creșterea lui răspunsul indical este aperiodic cu timpul de reglare de 9 ori mai mare cu o oscilație, iar cu reducerea lui performanțele sistemului sunt aproximativ aceleași ca la valorile nominale ale parametrilor modelului obiectului de reglare.

Tabelul 3

Variația parametrilor modelului (3) și performanțele sistemului

Nr. crt.	Valoarea inițială a parametrului modelului (3)	Variația valorii parametrului max/min	Performanțele sistemului automat					
			$\varepsilon, \%$	t_c, s	t_d, s	$d, \%$	t_r, s	n
1	$b_0 = 5$	10/2.5	5	0.3/0.69	0.45/1.22	8.46/16.12	1.07/1.92	2/1
2	$b_1 = 6$	12/3	5	0.4/2.17	0.72/0	22.82/0	1.19/2.17	1/0
3	$a_0 = 30$	60/15	5	0.81/0.31	1.87/0.44	20.78/5.55	20.66/2.15	6/2
4	$a_1 = 20$	40/10	5	1.27/0.46	3.46/0.77	8.81/11.74	8.27/3.32	2/2
5	$a_2 = 25$	50/12.5	5	0.94/0.49	5.25/0.85	9.80/8.55	6.85/6.27	1/2
6	$a_3 = 8$	164	5	1.94/0.51	0/0.79	0/5.12	4.62/0.84	1/1

Concluzii

Analizând rezultatele obținute la acordarea regulatorului la modelele (1)-(4) cu gradul de amortizare $\xi = 0.707$ și $\xi = 0.8$, timpul de reglare $t_r = 1.0$ s după metoda polinomială se pot face următoarele concluzii:

- Proprietățile dinamice ale sistemului automat închis cu regulatorul sintetizat sunt determinate de proprietățile polinomului caracteristic dorit în funcție de polii impuși

sistemului automat sintetizat, care s-au calculat conform performanțelor impuse sistemului sintetizat.

- Răspunsurile indiciale ale sistemelor sintetizate la semnal treaptă unitară sunt aperiodice.
- În limitele erorii de 5 % sistemele sintetizate au performanțe ridicate, care satisfac performanțele impuse sistemului automat.
- Timpul de reglare pentru sistemele cu modelele (1)-(3) este mai redus aproximativ de două ori în raport cu cel impus.
- Sistemele automate cu modele de obiecte de gradul 1, 2, 3 au aceleași performanțe.
- Cu creșterea ordinului modelului obiectului de reglare performanțele sistemului automat lent se reduc.

Mulțumiri

Lucrarea este sponsorizată de Subprogramul 02.04.04 „Inovații în Ingineria Biomedicală: Tehnologii și Aplicații Avansate de Achiziție, Prelucrare și Analiză a Datelor”.

Referințe

1. DORF, R.K.; BISHOP, R.X. *Современные системы управления (Modern Control Systems)*. Moskva: Laboratoria Bazovyh Znanii, 2004, 832 s. ISBN 5-93208-119-8.
2. ПУПЬКОВ, К.А.; ЕГУПОВ, А.М. *Методы классической и современной теории автоматического управления. Том 1. (Methods of classical and modern automatic control theory. V. 1)*, М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004, 654 с. ISBN 5-7038-2189-4.
3. DUMITRACHE, I. *Automatica*. București: Editura Academiei Române, 2009. V. 1, 961 p. ISBN 978-973-27-1883-4.
4. DUMITRACHE, I. *Ingineria reglării automate*. București: Politehnica Press, 2016. V. 1, 407 p. ISBN 978-606-515-686-9.
5. КИМ, Д. П. *Теория автоматического управления. Т. 1. Линейные системы (Automatic control theory. T. 1. Linear systems)*. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003, 288 s. ISBN 5-9221-0379-2.
6. КИМ, Д. П.; ДМИТРИЕВА, Н. Д. *Теория автоматического управления. Линейные системы. Задачник. (Automatic control theory. Linear systems. Book of problems)*, Москва: Издательство Юрайт, 2007, 168 s. ISBN 978-5-9221-0873-7.
7. IZVOREANU, B.; SECRIERU, A.; COJUHARI, Irina; FIODOROV, I.; MORARU, D.; POTLOG, M. Synthesize a Control Algorithm for a System with Second-Order Inertia and Time Delay. In: *The Proceedings 2022 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE)*. Iași, România, 20-22 October 2022, pp. 494-498. IEEE. DOI: [10.1109/EPE56121.2022.9959867](https://doi.org/10.1109/EPE56121.2022.9959867).
8. IZVOREANU, B.; SECRIERU, A.; COJUHARI, Irina; FIODOROV, I.; MORARU, D.; POTLOG, M. Tuning the PID Controller to the Object Model with Second-Order Inertia with Identical Elements and Time Delay by the Modified Polynomial Method. In: *The Proceedings 12th International Conference on Electronics, Communications and Computing IC ECCO*, 20-21 October 2022, pp. 230-234. Chișinău, Republic of Moldova. DOI: <https://doi.org/10.52326/ic-ecco.2022/CE.03>.
9. IZVOREANU, B.; COJUHARI, Irina; FIODOROV, I.; MORARU, D.; SECRIERU, A.; POTLOG, M. Comparative Analysis of Controller Tuning Methods for Second-Order Time Delayed Object Model with Astatism. In: *Proceedings the 14th International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN)-2023*, Chișinău, 12-13 October 2023, 1-5 p. DOI: [10.1109/SIELMEN59038.2023.10290837](https://doi.org/10.1109/SIELMEN59038.2023.10290837).
10. IZVOREANU, B.; SECRIERU, A.; COJUHARI, Irina; FIODOROV, I.; MORARU, D.; POTLOG, M. Comparative Analysis of Controller Tuning Methods for First-Order Inertia Object Model with Astatism and Non-Minimal Phase. In: *Proceedings the 14th International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN)-2023*, Chișinău, 12-13 October 2023, 1-5 p. DOI: [10.1109/SIELMEN59038.2023.10290837](https://doi.org/10.1109/SIELMEN59038.2023.10290837).

ANALIZA FENOMENULUI DE SUPRAANGAJARE

Elena GOLBAN*, Daniel CARPOV

Departamentul Informatică și Ingineria Sistemelor, gr.ȘD-241M, Facultatea Calculatoare Informatică și Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Moldova

*Autorul corespondent: Golban Elena, elena.golban@iis.utm.md

Rezumat: Studiul investighează fenomenul supraangajării, tot mai răspândit în contextul trecerii la munca de la distanță. Cercetarea se concentrează pe identificarea factorilor care determină oamenii să combine mai multe locuri de muncă și pe evaluarea impactului acestei practici asupra productivității și bunăstării personale. Analiza datelor colectate de la respondenți relevă că principala motivație pentru supraangajare este financiară, în special pentru achiziția de proprietăți, fiind urmată de dorința de a călători sau de a atinge obiective personale ambițioase. Deși 62% dintre participanți au raportat succes în atingerea obiectivelor, există preocupări legate de stresul ridicat și impactul asupra calității muncii. Concluziile sugerează că, deși supraangajarea poate fi o strategie eficientă pentru realizarea unor ținte financiare și profesionale, riscurile pe termen lung necesită o analiză mai profundă. Studiul subliniază nevoia unor cercetări suplimentare pentru a evalua echilibrul între beneficii și riscuri în acest context.

Cuvinte cheie: supraangajare, muncă remote, impact asupra productivității, stres ocupațional, motivații financiare, calitatea muncii.

Introducere

În contextul contemporan al transformărilor digitale și al tranziției către munca la distanță, piața muncii în domeniul IT, a cunoscut schimbări semnificative. Una dintre tendințele emergente, denumită supraangajare, se referă la fenomenul de a lucra simultan în mai multe locuri, beneficiind de flexibilitatea oferită de munca remote. Această practică, pe cât de inovatoare, pe atât de controversată, a atras atenția atât a angajatorilor[1,2], cât și a cercetătorilor, fiind privită ca o strategie de maximizare a veniturilor și de diversificare a competențelor.

Supraangajarea poate aduce oportunități financiare și profesionale pentru angajați, însă aceasta vine și cu riscuri semnificative în ceea ce privește productivitatea, sănătatea mintală și echilibrul dintre viața profesională și cea personală.. În timp ce unii angajați reușesc să gestioneze cu succes mai multe locuri de muncă, alții raportează dificultăți majore, precum epuizarea fizică și psihică sau scăderea calității muncii.

Lucrarea de față își propune să investigheze cauzele, motivațiile și consecințele supraangajării printr-o analiză detaliată a datelor colectate prin sondaje sociologice. Studiul explorează factorii economici și personali care favorizează combinarea mai multor locuri de muncă, precum și efectele pe termen lung asupra productivității și stării de bine a angajaților. Aceste constatări sunt esențiale pentru a înțelege implicațiile unui fenomen din ce în ce mai răspândit și pentru a ghida politicile organizaționale și individuale în direcția gestionării eficiente a supraangajării deoarece oferă o bază solidă pentru înțelegerea și gestionarea fenomenului de supraangajare într-un context global marcat de transformări digitale și munca la distanță.

Descirere generală

Articolul analizează fenomenul de supraangajare, identificând factorii socio-economici și psihologici care influențează decizia angajaților de a adopta multiple locuri de muncă. Din totalul de n recenzenti, m au menționat că practica de supraangajare este motivată în principal de necesitatea financiară, precum achiziționarea de bunuri, călătorii sau atingerea unor obiective

personale, în timp ce j recenzenti au subliniat că aceasta poate răspunde și nevoii de diversificare profesională și de a înfrunta provocările economice.

Cu toate acestea, chiar dacă unii angajați reușesc să își îndeplinească obiectivele, existența unor riscuri semnificative, cum ar fi stresul ridicat, scăderea productivității și efectele asupra stării de sănătate mintală. În cadrul cercetării, datele colectate prin sondaje sociologice au fost analizate folosind tehnici avansate de învățare automată, cum ar fi SMOTE (Synthetic Minority Over-sampling Technique), pentru a echilibra setul de date și a îmbunătăți predicțiile[3].

Lucrarea folosește trei modele de învățare automată (Regresia Logistică, Random Forest și K-Nearest Neighbors) pentru a analiza impactul supraangajării asupra performanței angajaților și pentru a prezenta o predicție a tendinței de a opta pentru multiple locuri de muncă pe baza caracteristicilor socio-demografice și profesionale ale acestora

Metode utilizate în analiza fenomenului de supraangajare:

În cadrul studiului, au fost aplicate următoarele metode pentru investigarea fenomenului de supraangajare:

1. **Colectarea datelor prin sondaje sociologice** – Datele au fost colectate de la respondenți, incluzând variabile socio-demografice, economice și psihologice relevante pentru decizia de a lua un al doilea loc de muncă. Această metodă este utilizată frecvent în cercetările sociologice pentru a obține informații directe și detaliate despre comportamentul și atitudinile oamenilor (Babbie, 2021) [1].
2. **Preprocesarea datelor folosind SMOTE** – Pentru echilibrarea claselor dezechilibrate în setul de date, a fost aplicată tehnica *Synthetic Minority Oversampling Technique* (SMOTE). Aceasta metodă a ajutat la generarea de exemple sintetice pentru clasa minoritară, îmbunătățind astfel performanța modelelor de învățare automată (Chawla et al., 2002) [2]; implementarea practică a fost realizată cu biblioteca Scikit-learn (Scikit-learn Developers, 2024) [3].
3. **Antrenarea modelelor de învățare automată** – Trei modele au fost utilizate pentru analiză și predicție:
 - **Regresia Logistică** – pentru estimarea probabilității unui al doilea loc de muncă, fiind un model statistic bine fundamentat în analiza relațiilor dintre variabile dependente binare și variabile independente (Hosmer et al., 2013) [4].
 - **Random Forest** – datorită capacității sale de a construi modele robuste bazate pe ansambluri de arbori de decizie. Această metodă este apreciată pentru acuratețea ridicată și capacitatea de a gestiona variabile redundante (Jackson & Griffin, 2020) [5].
 - **K-Nearest Neighbors (KNN)** – pentru clasificarea bazată pe similitudinea dintre observații, fiind un algoritm simplu, dar eficient pentru seturi de date cu dimensiuni reduse (Altman, 1992) [6].
4. **Evaluarea performanței modelelor** – Performanța modelelor a fost evaluată utilizând matricea de confuzie, acuratețea, precizia, scorul F1 și curba ROC. Aceste metrice sunt esențiale în analiza performanței algoritmilor de clasificare, oferind o imagine clară asupra capacității modelului de a clasifica corect datele noi (Powers, 2011) [7]. Rezultatele au indicat o acuratețe de 75% pentru modelul *Random Forest*.

Aceste metode au permis o analiză aprofundată a factorilor care determină fenomenul de supraangajare, evidențiind atât motivațiile financiare, cât și riscurile asociate, precum stresul și scăderea productivității.

Analiza setului de date

În urma completării sondajului, datele colectate au fost utilizate pentru a analiza factorii care determină decizia indivizilor de a lua un al doilea loc de muncă. Analiza include variabile

socio-demografice (precum vârsta, genul și nivelul de educație), economice (venituri și cheltuieli) și psihologice (satisfacția profesională și personală). Rezultatele obținute oferă o perspectivă clară asupra motivațiilor individuale și a implicațiilor economice și sociale ale acestei decizii.

Varsta	Sex	Educatie	Experienta (ani)	Profesie	Stare civila	An aparitie a doua munca	Salariu la momentul aparitiei a doua munci (EUR)	Confort in combinarea muncilor	Motiv pentru a lua a doua munca	Nr. muncii curente	Obiective realizate
58	M	Nu		21 Marketing	Casatorit	20	1681 Uneori dificil, dar reusesc	Altele	Doua	Da	
25	F	Da		23 Programator	Ne casatorit	11	2664 Complet convenabil	Altele	Una	Nu	
19	F	Nu		18 Manager	Ne casatorit	16	2989 Complet convenabil	Interes in alt domeniu	Una	Partial	
65	F	Nu		8 Programator	Casatorit	1	2971 Uneori dificil, dar reusesc	Dorinta de crestere	Trei sau mai multe	Da	
35	M	Da		22 Manager	Casatorit	4	1875 Uneori dificil, dar reusesc	Dorinta de crestere	Una	Nu	

Figura 1. Setul de date utilizat

Explicație a coloanelor din setul de date:

1. **Vârstă:** Vârsta respondentului.
2. **Sex:** Sexul respondentului.
3. **Educație:** Dacă respondentul are sau nu studii superioare.
4. **Experiență (ani):** Câți ani de experiență profesională are respondentul.
5. **Profesie:** Meseria actuală a respondentului.
6. **Stare civilă:** Starea civilă a respondentului (căsătorit, ne-căsătorit, etc.).
7. **An apariție a doua muncă:** Câți ani au trecut de la începutul carierei până la apariția celui de-al doilea loc de muncă.
8. **Salariu la momentul apariției a doua munci:** Salariul net lunar (în euro) la momentul în care respondentul a început să lucreze la al doilea loc de muncă.
9. **Confort în combinarea muncilor:** Nivelul de confort resimțit de respondent în legătură cu combinarea mai multor locuri de muncă.
10. **Motive pentru a lua a doua muncă:** Motivele pentru care respondentul a ales să ia un al doilea loc de muncă.
11. **Nr. muncii curente:** Câte locuri de muncă are respondentul în prezent.
12. **Obiective realizate:** Dacă obiectivele stabilite de respondent au fost sau nu realizate prin luarea unui al doilea loc de muncă.

Antrenarea datelor utilizând SMOTE (Synthetic Minority Oversampling Technique)

SMOTE (Synthetic Minority Oversampling Technique) este o metodă utilizată pentru a gestiona problema dezechilibrului claselor în seturile de date de clasificare. Dezechilibrul claselor apare atunci când una dintre clasele țintă este semnificativ subreprezentată în comparație cu cealaltă, ceea ce poate afecta negativ performanța modelelor de învățare automată[4]. SMOTE abordează această problemă prin generarea de exemple sintetice pentru clasa minoritară. Aceste exemple nu sunt duplicări ale punctelor existente, ci sunt create prin interpolarea aleatorie între punctele din clasa minoritară și vecinii lor apropiați[3].

```

Valorile unice din 'Nr. muncii curente':
['Doua' 'Una' 'Trei sau mai multe']
Distribuția claselor în target înainte de SMOTE:
Va_lua_al_doilea_loc_de_munca
1    71
0    29
Name: count, dtype: int64
Distribuția claselor după SMOTE:
Va_lua_al_doilea_loc_de_munca
1    71
0    71
...
Va_lua_al_doilea_loc_de_munca
0    61
1    52
Name: count, dtype: int64

```

Figura 2. Rezultatele obținute pentru SMOTE

Această tehnică cu rezultatele afișate în fig.2, extinde reprezentarea clasei minoritare în spațiul caracteristicilor și ajută la echilibrarea distribuției datelor. În lucrarea de față, SMOTE a fost aplicat pentru variabila țintă *Va_lua_al_doilea_loc_de_munca*, reprezentat și în **fig. 3**, unde clasa minoritară era reprezentată de persoanele care aveau mai mult de un loc de muncă.

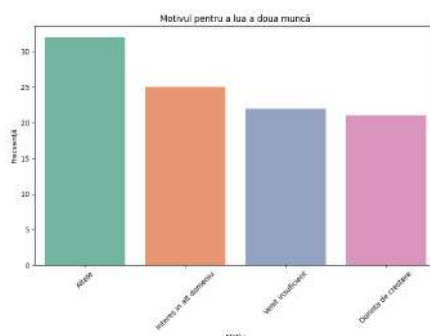


Figura 3. Distribuția pentru a 2 loc de muncă

Rezultatul a fost un set de date echilibrat, care a permis modelelor să învețe mai bine caracteristicile ambelor clase. Cu toate acestea, utilizarea SMOTE poate introduce zgomot în date dacă punctele din clasa minoritară prezintă anomalii sau erori[4]. În contextul setului nostru de date, SMOTE a contribuit la obținerea unui echilibru între clase și a crescut eficiența procesului de antrenare[4].

Antrenarea modelelor de învățare automată

Procesul de antrenare a modelelor de învățare automată implică analiza datelor pentru identificarea tiparelor care pot fi utilizate pentru predicții. În această lucrare, au fost utilizate trei modele de învățare automată: Regresia Logistică, Random Forest și K-Nearest Neighbors (KNN). Fiecare dintre aceste modele a fost ales pentru capacitatea sa de a aborda o problemă de clasificare binară, adaptându-se la diferite tipare prezente în date[4].

Setul de date echilibrat, obținut cu ajutorul SMOTE, a fost împărțit în două subseturi: unul pentru antrenare, reprezentând 80% din date, și unul pentru testare, reprezentând 20%. Modelele au fost antrenate pe setul de antrenament, utilizând variabile precum vârsta, experiența în muncă, educația și motivele care influențează decizia de a lua un al doilea loc de muncă. Regresia Logistică a fost folosită pentru a prezice probabilitatea de apariție a unui al doilea loc de muncă, bazându-se pe relațiile liniare dintre variabile. Random Forest a fost utilizat pentru capacitatea sa de a construi modele complexe, bazate pe ansambluri de arbori de decizie, ceea ce îl face potrivit pentru date diverse cu acuratețea de 0.75%. KNN a fost antrenat pentru a clasifica datele pe baza vecinilor apropiați, oferind o abordare simplă, dar eficientă.

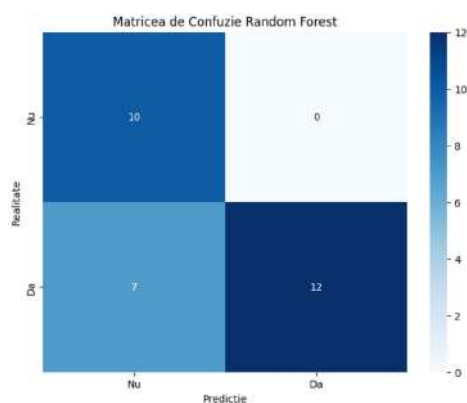


Figura 4. Matricea de confuzie pentru Random Forest

Performanța fiecărui model, reprezentată prin matricea de confuzie din fig.4, a fost evaluată utilizând metrici specifice, precum acuratețea, precizia și scorul F1, precum și curba ROC. Aceste evaluări au permis identificarea avantajelor și limitărilor fiecărui model, contribuind la o mai bună înțelegere a datelor și la alegerea unui model optim pentru problemă. Modelele antrenate au arătat o capacitate ridicată de a clasifica datele echilibrate, subliniind importanța preprocesării adecvate și a utilizării tehnicilor precum SMOTE în procesul de antrenare[3].

Concluzii

Impactul negativ semnificativ pe care supraangajarea îl are atât asupra performanței organizaționale, cât și asupra bunăstării angajaților este evident. 50% dintre respondenți au declarat că supraangajarea contribuie la epuizare fizică și emoțională, în timp ce 30% au menționat scăderea productivității drept o consecință directă a volumului de muncă excesiv. De asemenea, 20% dintre respondenți au raportat intenții crescute de fluctuație a forței de muncă din cauza presiunii continue și a mediului solicitant.

Un mediu organizațional care prioritizează echilibrul dintre viața profesională și cea personală, precum și implementarea unor strategii de reducere a volumului de muncă excesiv, aduce beneficii semnificative atât angajaților, cât și organizației în ansamblu. Organizațiile trebuie să adopte politici sustenabile de management al resurselor umane, să încurajeze flexibilitatea muncii și să creeze un climat organizațional pozitiv.

În plus, dezvoltarea unui stil de leadership empatic și implementarea programelor de wellness sunt elemente esențiale pentru diminuarea efectelor negative ale supraangajării. Concluziile obținute evidențiază importanța echilibrului dintre cerințele organizaționale și nevoile individuale ale angajaților, contribuind astfel la îmbunătățirea performanței organizaționale și a calității vieții acestora.

Mulțumiri. Doresc să-mi exprim profunda recunoștință către Crețu Vasile dr. conf. univ, pentru îndrumarea și suportul acordat pe parcursul realizării acestui articol. De asemenea, mulțumiri speciale asist. univ., Ursu Adriana, Munteanu Silvia, Magariu Nicolae, pentru sfaturile valoroase și asistența oferită. Contribuțiile lor au fost esențiale pentru finalizarea acestei lucrări, iar sprijinul lor este apreciat cu sinceritate.

Referințe

1. BABBIE, E. R. The Practice of Social Research. 13th ed.; Cengage Learning, Canada, 2021. pp. 609. ISBN-13: 978-1-133-05009-4.
2. CHAWLA, N. V.; BOWYER, K. W.; HALL, L. O., KEGELMEYER, W. P. "SMOTE: Synthetic Minority Over-sampling Technique." Journal of Artificial Intelligence Research, (2002), 16, pp. 321-357,
3. Scikit-learn Developers. Scikit-learn: Machine Learning in Python. (2024). <https://scikit-learn.org>
4. HOSMER, D. W.; LEMESHOW, S.; STURDIVANT, R. X. Applied Logistic Regression. 3rd ed.; Wiley Series in Probability and Statistics, 2013; pp. 528. ISBN: 978-0-470-58247-3.
5. JACKSON, P., GRIFFIN, M. Random Forests for Predictive Modeling. Springer, (2020).
6. ALTMAN, N. S. An Introduction to Kernel and Nearest-Neighbor Nonparametric Regression." The American Statistician, 46(3), 175-185, (1992).
7. POWERS, D. M. W. "Evaluation: From Precision, Recall and F-measure to ROC, Informedness, Markedness & Correlation." Journal of Machine Learning Technologies, 2(1), 37-63, (2011).

AI-BASED CLASSIFICATION OF NATO PHONETIC ALPHABET PHRASES USING A LASER MICROPHONE SYSTEM

Cosmin CIORBĂ, Dan Gabriel CORACI

*Electrical Engineering, Mathematics, and Computer Science, Creative Technology,
University of Twente, Enschede, Netherlands*

*Autorul corespondent: Cosmin CIORBĂ, cosmin.ciorba@gmail.com

Scientific supervisor/coordinator: Dr. Angelika Mader, Associate Professor

Scientific supervisor/coordinator: Marcus Gerhold, Associate Professor

Abstract. *Conventional membrane microphones and radio links can fail in military or rescue scenarios because of wind, extreme ambient noise, structural obstructions or electromagnetic jamming. To address these constraints we built and evaluated a non-contact laser-microphone system that classifies spoken words of the NATO phonetic alphabet (“Alpha”– “Zulu”) in near-real time. A low-cost laser is directed onto an acrylic panel; the reflection modulated by speech-induced surface vibrations are sensed by a photodiode, amplified with automatic gain control and recorded on a laptop. The raw waveform is converted into spectrograms that feed a 2-D convolutional neural network. A corpus of 2,600 utterances was collected from five male speakers (20 repetitions × 26 letters) under controlled indoor conditions. After training the model achieved 80.2 % validation accuracy on unseen repetitions, with most errors confined to acoustically similar pairs (e.g. Hotel/Echo). Unlike airborne microphones, the optical path remains effective through glass, acrylic or sealed enclosures, enabling reliable voice acquisition at standoff distances and in contaminated or hostile environments. The results demonstrate that combining laser vibrometry with lightweight deep learning yields a viable speech interface where traditional audio sensors or wireless links are unusable, offering a foundation for robust, field-deployable voice communication tools in mission-critical operations.*

Key Words: Laser microphone, phonetic alphabet, audio classification, cnn, speech recognition, rescue systems **2:** *speech recognition, phonetic alphabet, deep learning, acoustic sensing, mission-critical communication*

Introduction

In situations such as military and rescue operations, the ability to “listen” is crucial. Using conventional membrane microphones is compromised and limited by various factors especially in such situations: air movement disruption, high ambient noise, physical separation between the sound source and the receiver, structural obstructions, or environments that are unsafe or impossible to access. In addition, even radio-based communication may be blocked by electromagnetic interference or jamming. To address these challenges, a custom-built laser-based microphone system was developed. The goal of this project is to demonstrate that a laser-based sensing system can serve as a viable alternative for voice recognition in environments where conventional microphones fail. To structure the voice input and make it reliable under the limitations of the laser microphone, we chose to base our classification on the NATO phonetic alphabet. The testing showed that the microphone system performed best when capturing short, clearly articulated words. The NATO alphabet provides a standardized set of distinct sounding words that are already optimized for noisy and poor-quality communication. This enabled us to use an efficient method for spelling out longer messages. The system performs near-real-time word classification, recognizing spoken NATO phonetic alphabet terms (“Alpha” through “Zulu”) using a 2D Convolutional Neural Network (CNN). The remotely captured signal is

converted into log-mel spectrograms and passed through the CNN for classification. The training dataset consists of recordings from five different speakers, each contributing 20 samples per NATO term (2,600 total samples), adding diversity in speech characteristics. Unlike traditional microphones, which rely on airborne sound and are prone to interference from environmental noise or blocked line-of-sight, the laser microphone captures speech-induced vibrations from a reflective surface using a photodiode and amplifier circuit. This enables remote, non-contact operation through barriers like acrylic or glass and makes it more resilient in noisy, obstructed, or hazardous conditions. This system is particularly relevant for deployment in military or rescue missions, where robust voice-triggered interfaces are needed under extreme environmental constraints.

Hardware

Table 1

Material used

Component	Purpose	Specifications / Notes
Laser pointer	Emit beam to reflect speech-induced vibrations	Mounted on ball joint of tripod; no optical filter used
BPW34 Photodiode	Detect modulated laser reflections from vibrating surface	Mounted in custom 3D-printed housing
MAX9814 Microphone Amplifier	Amplify signal from photodiode with automatic gain control (AGC)	Selected for consistent gain across loudness/speaker distance
Modified AUX cable	Carry analog signal to laptop	Includes in-line electrical filter for noise reduction
Professional camera tripod	Stable, adjustable mounting for laser & photodiode	Custom mounts for accurate alignment
3D-printed mounts	Secure laser and photodiode to tripod	Designed for stability and repeatability
Acrylic Panel	Reflect laser and transmit vibrations from speech	192×142×1.2 mm; tested best in 1–4 kHz speech range
Plywood Box	Acoustic enclosure; isolates speaker and holds acrylic panel	300×250×300 mm; reduces external noise and focuses speakers sound
Foam padding	Reduce internal resonance and standing waves	Placed inside plywood box

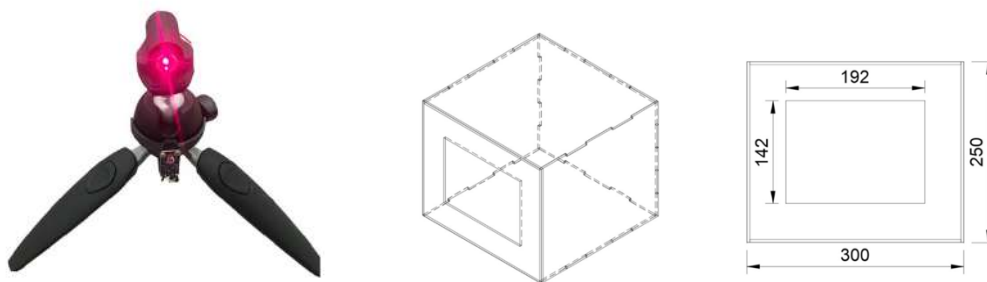


Figure 4. Laser microphone and box configuration and dimensions

Laser and Photodiode Mounting

When designing for the laser and photodiode setup we took in consideration numerous factors such as the ability to align the laser with the photodiode in a repeatable and stable manner, stability and adjustability were a priority due to the very same effect that enables us to receive useful data from the acrylic panel, the angular displacement amplification effect. Small changes in the lasers angle make it significantly harder to fix on the photodiode as the total distance travelled by the light increases. This led us to make the choice of adapting and enhancing an already existing product that is optimised for precise movements and stability – a

professional camera tripod. We designed a custom 3D-printed system to attach the laser and photodiode to the tripod. This setup allows for repeated, stable calibration for data collection and for testing.

Reflective Surface and Speaker Enclosure

Acrylic was chosen as the reflective surface due to its favourable acoustic and optical properties. Compared to glass, acrylic has a lower density and slightly lower stiffness that makes it more sensitive to low-energy acoustic excitation like human speech making it a good fit for our setup. Through empirical testing like frequency sweeping, 192, 142, 1.2 mm (W×H×D) acrylic responded the best to the frequencies between 1 kHz and 4 kHz which is of most importance for human speech intelligibility [2]. The initial plywood box dimensions were based on considerations such as providing enough internal volume to accommodate the speaker's headspace for natural articulation, and ensuring the 210×297 mm acrylic panel could be mounted securely without edge warping. The final dimensions of 300×250×300 mm allowed for optimal alignment of the laser and photodiode while maintaining acoustic proximity between the speaker and the panel.

Signal Capture and Processing

The modulated reflection of the laser beam is detected by a BPW34 photodiode. The signal is amplified by MAX9814 amplifier module which was specifically chosen because it has Automatic Gain Control (AGC). This allows for a consistent signal even if there is variation in the speech, loudness, and distance from the acrylic. The output signal is passed through a modified AUX cable plugged into a laptop. Ambient light was not filtered, since the laser's signal intensity is sufficient to dominate over environmental light sources. No optical lenses or filters were used since through testing results, they weren't needed.

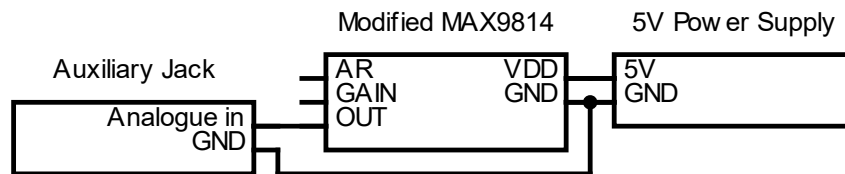


Figure 5. Electronics diagram

Data collection

Process of data collection

The data set was collected by recording five male participants using the free and open-source digital audio editor Audacity, each participant spoke all 26 NATO phonetic alphabet words (Alpha-Zulu) for 20 times each in a single session. Two microphones were used at the same time: a clean microphone(phone) and a custom-built laser microphone. All participants were informed about the purpose of the project and signed a written consent form which allows for their voice to be used for machine learning research. No personal or identifying information was collected. This data is covered under the nr. 240218, by the CIS ethics committee of the University of Twente. The final dataset consists of audio recordings from five male participants resulting in 2,600 utterances per microphone type (clean and from the laser). All the recordings were conducted in a controlled indoor environment to ensure acoustic consistency across sessions.

Trimming Voice Activity Detection (VAD)

1. *librosa.effects.trim()* to remove leading and trailing silence.

2. `librosa.effects.split()` to extract individual speech segments from the trimmed waveform, using `adBthreshold(top_db=25)` to isolate each spoken repetition.
3. The segments shorter than 0.3s or longer than 1.1s were filtered to remove background noise or mis-segmented content.

Normalization Padding

- Each segment was normalized to the range [-1.0, 1.0].
- We padded/trimmed all waveforms to a uniform length of 1.1 seconds (17,600 samples at 16kHz) in order to ensure consistent input for training the model which was an essential step. From our dataset the longest pronounced letter was 0.9 seconds, thus because of different speeds of the speakers 1.1 seconds were left as the standard length.

Spectrogram Conversion

Each waveform was converted into a 2D log-magnitude spectrogram which allowed us to use the CNN model to learn from both temporal and frequency-based features. The waveforms were converted using Short-Time Fourier Transform (STFT).

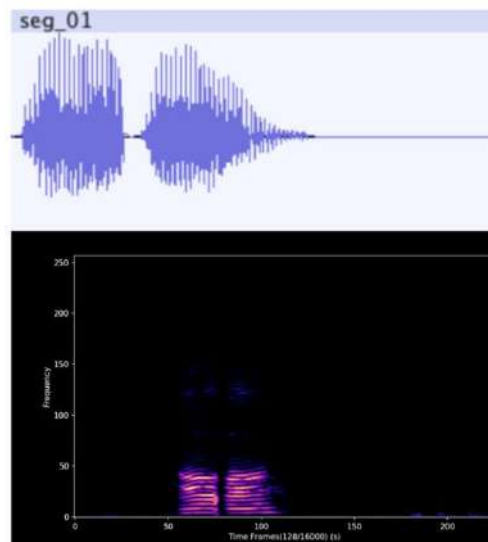


Figure 6. Audacity waveform and generated spectrogram pronouncing "Alpha"

Labeling & Organization

Every segment was saved with a consistent naming format (e.g., a_p1_01.wav) and organized into folders by letter and speaker and labels (0–25) corresponding to letters a–z were automatically inferred from filenames.

This pre-processing pipeline ensures the data is clean and formatted correctly for the CNN model:

1. Time-related consistency: Padding ensures all the inputs are of the same durations.
2. Segmentation: Voice Activity Detection (VAD) prevents the model from training on silence or background noise that the mic could have picked up.
3. CNN compatibility: Log-magnitude spectrograms allow the model to learn temporal and frequency-based features.

Description of the data set

The final dataset consists of 2,600 audio recordings per microphone type (clean and laser), specifically 20 repetitions of every NATO phonetic alphabet words. The focus on male voices were due to participant availability and convenience sampling. Even though this introduces demographic bias, it aligns with the goal of creating a proof of concept: training a model to learn consistent and letter specific acoustic patterns rather than speaker generalization. Prior studies in speech recognition suggests that speaker variability (e.g., gender, pitch range) significantly impacts generalization performance. Our decision is supported by the following study[1] to first constrain the dataset to reduce variability during the early development of the model. We wanted our model to recognize NATO letters from distorted or noisy laser microphone recordings, which in this case consistent patterns is more critical than the speaker diversity.

ML algorithms applied

The machine learning model chosen for this application is a 2D Convolutional Neural Network (CNN), which was trained to classify NATO phonetic alphabet letters based on audio segments recorded with the specific laser microphone. As described in Chapter 3.1 each audio waveform is converted into a log-magnitude spectrogram using short-time Fourier Transform, which transforms the audio signal into a 2D time-frequency representation. This was chosen given the fact that is well suited for CNNs, which are efficient in identifying patters in image data, including in our case speech over time and frequency.

We chose to train the model only on laser microphone data for this version even though we also collected clean microphone data. This decision was based on the practical constrains: the microphone and laser mic signals differ significantly in quality, and by combining them in a single stage training could have introduced inconsistency which would have degraded the performance of the model.

The current version of the system focuses only on the laser mic data to ensure consistency. This setup allows the model to learn the specific characteristics and the challenges of the laser-based voice capture.

Quality of the model

To evaluate the quality of our machine learning model, we trained the 2D CNN on spectrograms derived from the laser microphone recordings of the NATO alphabet. The model was trained using sparse categorical cross-entropy loss and was evaluated using accuracy on a held-out validation set, consisting of unseen repetitions from the same speakers. Validation is done on new utterances that the model has never seen even though they come from the same speakers.

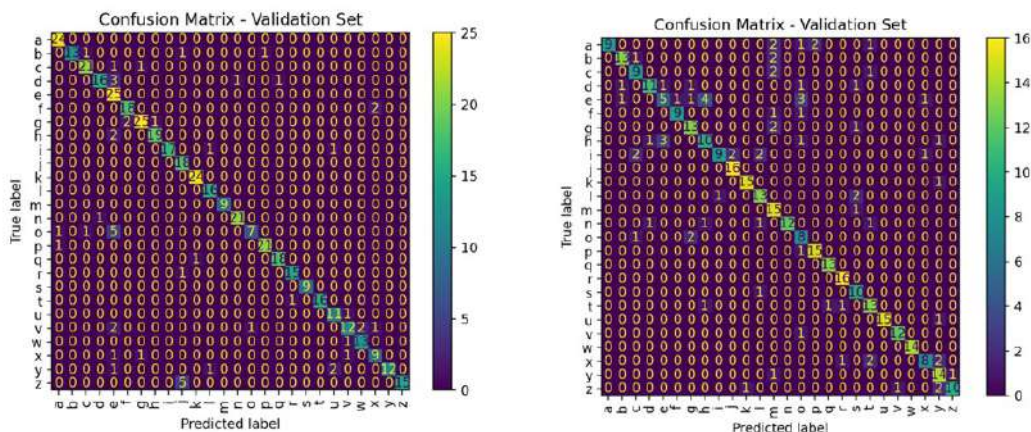


Figure 7. Confusion matrix for the validation with the same samples (left image); Confusion matrix for the validation on new utterances (right)

This was done to better simulate what happens when the model sees new input in the real-world scenario. Before this was done, the validation set included samples from the same recording used during training and model overfitted and resulted in inflated accuracy and a misleading confusion matrix.

After 30 training epochs, the model reached an 80.16% validation accuracy with a loss of 0.6893. This means that the model correctly predicted the spoken NATO letter 80% of the time on the validation set. We also generated a confusion matrix to better visualize the model behavior across all the letters. Most letters were correctly predicted, some confusions occurred between acoustically similar letters for example (Hotel/Echo, Oscar/Echo, Mike/Alpha).

Conclusion

This project demonstrated the practicality of using a laser microphone in combination with a machine-learning model to recognize spoken NATO alphabet letters. Converting audio forms into spectrograms and training a convolution neural network we achieved validation of 80% using only noisy, low-fidelity laser mic recordings. This demonstrates that despite the challenging input conditions it is possible to extract patterns of pronunciation and rhythm for reliable classification. Beyond our literal product and installation, our project shows that through the use of AI, communication through unconventional sensing means is possible. These unconventional means can often have drawbacks, however, AI can complement them in such a way as to get the benefits while mitigating the drawbacks. The ability of the laser microphone to detect vibrations caused by sound through barriers and at large distances where traditional microphones or radio signals fail, combined with AI to interpret signals that are unintelligible to the human ear, opens up opportunities for new, resilient, remote communication. Especially in mission-critical scenarios such as disaster zones, hostage situations, or military operations.

Bibliografie:

1. ATTANASIO, G.; SAVOLDI, B.; FUCCI, D.; HOVY, D. Twists, Humps, and Pebbles: Multilingual Speech Recognition Models Exhibit Gender Performance Gaps. In Proceedings of the 2024 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, Miami, Florida, USA, November 6–10, 2024; AL-ONAIZAN, Y.; BANSAL, M.; CHEN, Y.-N., Eds.; Association for Computational Linguistics: Stroudsburg, PA, USA, 2024; pp. 21318–21340, doi: 10.18653/v1/2024.emnlp-main.1188.
2. DPA Microphones. Facts about Speech Intelligibility. Available online: <https://www.dpamicrophones.com/mic-university/background-knowledge/facts-about-speech-intelligibility> (accessed on April 11, 2025).

PREDICȚIA CRIMELOR ÎN ORAȘUL CHICAGO UTILIZÂND SARIMAX

Cătălin CALANCEA^{1*}, Elena GOLBAN²,

¹Departamentul Informatica și Ingineria Sistemelor, grupa MI-221, Facultatea Calculatoare, Informatică și Microelectronică, Universitatea Tehnică din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

²Departamentul Informatica și Ingineria Sistemelor, grupa ȘD-241M, Facultatea Calculatoare, Informatică și Microelectronică, Universitatea Tehnică din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

*Autor corespondent: Cătălin Calancea, catalin.calancea@iis.utm.md

Rezumat. Criminalitatea este o problemă socială precară și frecventă cu care se confruntă întreaga lume. Infracțiunile afectează calitatea vieții, creșterea economică și reputația unei națiuni. În ultimii câțiva ani, rata criminalității a crescut foarte mult. Ca răspuns la această creștere, există o nevoie de sisteme avansate și de noi abordări pentru îmbunătățirea analizei criminalității în vederea protejării comunităților. Deși predicția precisă a criminalității în timp real contribuie la reducerea ratei criminalității, aceasta rămâne o problemă dificilă pentru comunitatea științifică, deoarece apariția infracțiunilor depinde de mulți factori complecși. În această lucrare, sunt adoptate tehnici de vizualizare și algoritmi de învățare automată pentru a prezice distribuția criminalității în orașul Chicago.

Cuvinte cheie: Analiza infracțiunilor; Predicția infracțiunilor; Vizualizarea datelor; Machine Learning.

Introducere

Infracțiunile sunt probleme sociale comune care afectează calitatea vieții, creșterea economică și reputația țărilor. Infracțiunile sunt factori importanți care afectează diferite decizii vitale din viața unui individ, cum ar fi mutarea într-un loc nou, deplasarea la momentul potrivit, evitarea zonelor riscante etc. Infracțiunile afectează și defăimează imaginea unei comunități. Infracțiunile afectează, de asemenea, economia unei națiuni, punând povara financiară pe umerii guvernului din cauza necesității unor forțe de poliție, instanțe etc. suplimentare.

Întrucât infracțiunile cresc drastic, suntem alarmați să le reducem într-un ritm și mai rapid. În general, indicii criminalității din orașul Chicago a crescut cu 41% în 2021 față de 2020 [1]. Putem reduce aceste cifre dacă putem analiza și prezice locurile și locurile infracțiunilor și dacă putem lua măsuri preventive în avans.

Rata criminalității poate fi redusă semnificativ prin prognozarea în timp real a criminalității, sau a numărului total de crime, care ajută la salvarea celor mai valoroase vieți.

Analiza adecvată a datelor anterioare privind criminalitatea ajută la predicția infracțiunilor și, astfel, contribuie la reducerea ratei criminalității. Procesul de analiză implică investigarea rapoartelor privind infracțiunile și identificarea cât mai rapidă a noilor modele, serii și tendințe.

Cel mai important, pașii următori sunt preprocesarea datelor, vizualizarea datelor și construirea modelului, care sunt discutate mai detaliat în secțiunile următoare. Pe scurt, faza de preprocesare constă în curățarea și transformarea datelor. Faza de vizualizare generează diverse rapoarte pentru procesul de diagnosticare și analiză, iar în cele din urmă, în faza de construire a modelului, sunt utilizați algoritmi de învățare automată pentru predicția în timp a infracțiunilor.

Lucrări conexe

Analiza și predicția criminalității reprezintă o activitate importantă care poate fi optimizată prin utilizarea diferitelor tehnici și procese. Mai mulți cercetători efectuează numeroase lucrări de cercetare în acest domeniu. Lucrările actuale se limitează la utilizarea seturilor de date pentru a identifica locațiile infracțiunilor. Dar niciuna dintre ele nu a luat în

considerare tipul de infracțiune și data infracțiunii ca factor. ToppiReddy et al [2], furnizează hărți statice fără caracteristici interactive. La fel și Almuhanha et al. [3], care au propus doar metode de învățare automată și de prelucrare a datelor, fără hărți interactive.

Cadrul propus oferă tehnici de vizualizare care iau în considerare locația și multe alte informații introduse de utilizator pentru a prezice tipul de infracțiune pentru a depăși aceste limitări. Puține lucrări s-au concentrat pe utilizarea arborilor de decizie pentru predicția infracțiunilor [4] [5]. Nasridinov et al. [5], a folosit atributele populația unei țări, venitul mediu al gospodăriilor, procentul de șomeri cu vârsta mai mare de 16 ani, tipul de infracțiune etc. care prezic doar dacă într-o zonă va exista un procent ridicat, mediu sau scăzut de infracțiuni violente care se pot întâmpla în viitor. Metodele propuse de aceștia nu preziceau tipul de infracțiune care ar putea avea loc.

Dataset

Această lucrare se bazează pe City of Chicago Crime Data [6]. Acest set de date include toate infracțiunile grave, contravenționale și de încălcare a legii raportate la Departamentul de Poliție al orașului Chicago din 2001 până în 2025. Setul de date conține 8,263,506 de plângeri și 22 de coloane care includ informații spațiale și temporale despre apariția infracțiunilor, care mai apoi au fost folosite pentru îmbinarea celorlaltor dataseturi privind factorii sociali și economici utilizând coloanele "Ward", "Block", împreună cu descrierea și clasificarea lor penală.

Exploratory data analysis

Pentru a înțelege mai bine datele în cauză și pentru a analiza diferitele distribuții și relații dintre caracteristici, efectuăm o analiză exploratorie a datelor (EDA) pentru a răspunde întrebărilor despre ce, și când au loc infracțiunile.

Distribuția factorilor sociali / economici.

Un aspect esențial al analizei exploratorii a datelor (EDA) în contextul previzionării ratei criminalității este evaluarea distribuției factorilor socio-economici. Unul dintre acești factori critici este rata șomajului (Figura 1), care poate avea un impact semnificativ asupra fluctuațiilor infracționalității.

Graficul rezultat evidențiază că rata șomajului variază între aproximativ 5% și 20%, având o concentrare semnificativă în jurul valorii de 12%. Distribuția prezintă o ușoară asimetrie spre dreapta, ceea ce indică existența unor regiuni sau perioade cu rate ale șomajului mai ridicate decât media. Frecvența maximă a observațiilor depășește 65 pentru acest interval central, ceea ce sugerează că majoritatea datelor analizate reflectă rate ale șomajului moderate.

Costul chiriei (Figura 2) variază între aproximativ 500 și 2500 de \$, cu frecvențe maxime în jurul valorilor 500, 750, 1500 și 1750. Aceste vârfuri multiple sugerează existența unor segmente distincte de locuințe determinate de factori precum zona geografică, nivelul de urbanizare sau politicile de locuire. Cel mai ridicat număr de observații se înregistrează la valoarea minimă a chiriei, unde frecvența depășește 120, indicând o concentrație semnificativă de locuințe accesibile.

Valorile inegalității veniturilor (Figura 3) variază între 20 și 90, ceea ce indică o diversitate ridicată în termeni de distribuție a veniturilor în regiunile analizate. Cele mai frecvente valori se situează între 40 și 60, cu un vârf semnificativ în jurul valorii 50, unde frecvența depășește 80 de observații. Acest lucru sugerează că majoritatea regiunilor analizate au un nivel moderat de inegalitate economică.

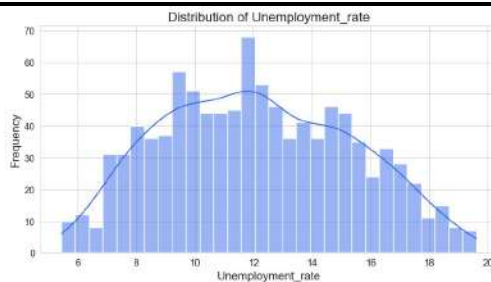


Figura 1. JACKSON, P., GRIFFIN, M. Random Forests for Predictive Modeling. Springer, (2020)

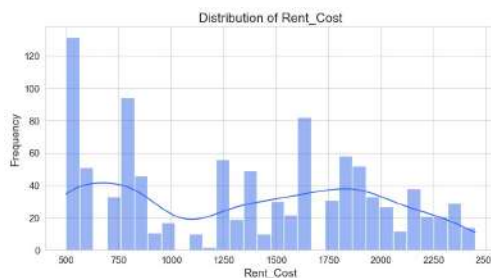


Figura 2. Distribuția variabilei Rent_Cost

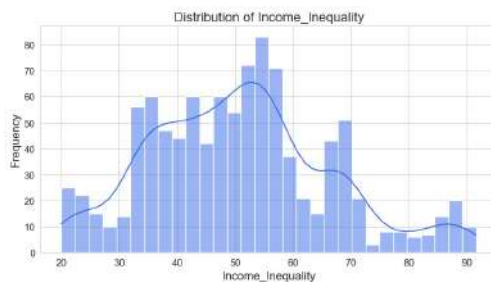


Figura 3. Distribuția variabilei Income_Inequality

Relația factorilor sociali / economici cu variabila dependentă Crime_Count.

În această secțiune, analizăm relația dintre factorii sociali și economici și variabila dependentă Crime_Count. Pentru a înțelege mai bine impactul fiecărei variabile asupra criminalității, au fost utilizate diagrame de dispersie care permit vizualizarea tiparelor și a potențialelor corelații dintre variabile.

În figura 4 este reprezentată relația dintre rata educației Education_Rate și numărul de infracțiuni Crime_Count. Observăm o aglomerare de valori la niveluri scăzute ale Education_Rate (sub 10%), ceea ce sugerează că majoritatea regiunilor analizate au o educație redusă. În mod contraintuitiv, graficul sugerează o ușoară tendință pozitivă între aceste două variabile, ceea ce indică faptul că regiunile cu un nivel mai ridicat de educație pot înregistra, de asemenea, o creștere a numărului de infracțiuni.

În figura 5 este reprezentată relația dintre accesul la servicii de sănătate Healthcare_Access și numărul de infracțiuni Crime_Count. Acest scatterplot indică o corelație ușor pozitivă între cele două variabile, ceea ce sugerează că regiunile cu un acces mai bun la servicii medicale pot avea un număr mai mare de infracțiuni. Regiunile cu acces mai mare la servicii medicale sunt, de regulă, zone urbane, care tind să aibă și un număr mai mare de infracțiuni din cauza concentrării populației.

În figura 6 este reprezentată relația dintre prezența poliției Police_Presence și numărul de infracțiuni Crime_Count. Spre deosebire de cazurile anterioare, acest scatterplot indică o corelație negativă între cele două variabile, ceea ce sugerează că, pe măsură ce crește prezența forțelor de ordine, numărul infracțiunilor tinde să scadă. La niveluri scăzute de Police_Presence (sub 30), se observă o concentrație mai mare de puncte în intervalul 250-400 al Crime_Count, ceea ce indică faptul că zonele cu o vizibilitate redusă a poliției sunt mai vulnerabile la

infracțiuni. Pe de altă parte, în regiunile unde Police_Presence este peste 70, se înregistrează mai puține cazuri de infracționalitate, valorile Crime_Count fiind în general sub 200.

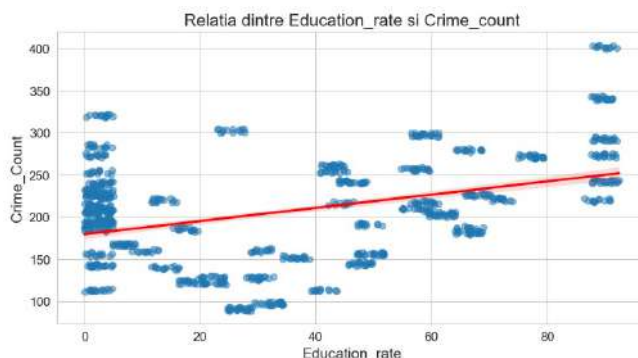


Figura 4. Relația dintre Education_Rate și Crime_Count

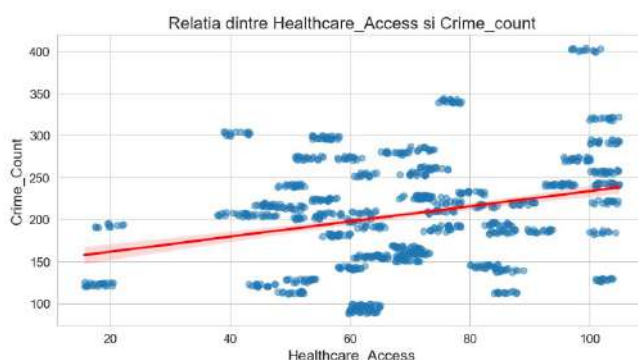


Figura 5. Relația dintre Healthcare_Access și Crime_Count

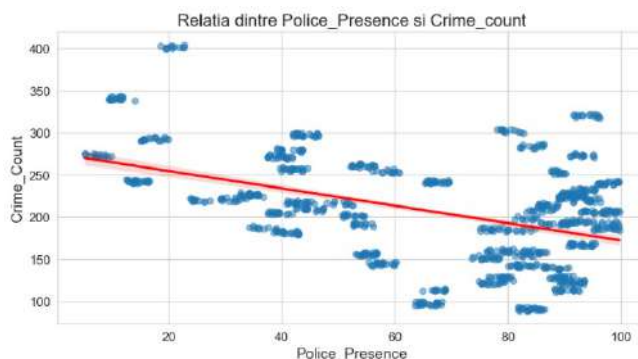


Figura 6. Relația dintre Police_Presence și Crime_Count

Dinamica în timp a crimelor

Analiza temporală a criminalității joacă un rol esențial în identificarea tendințelor și a modelelor sezoniere care pot influența numărul infracțiunilor. Studiarea evoluției acestui fenomen pe parcursul mai multor ani ne permite să înțelegem dacă există cicluri repetitive, vârfuri de activitate sau perioade de declin care pot fi corelate cu factori sociali, economici sau politici.

În această secțiune, vom examina dinamica infracționalității dintr-o perspectivă cronologică, analizând variațiile anuale și tendințele pe termen lung. Prima vizualizare (Figura 7) prezintă numărul total de infracțiuni înregistrate anual, oferind o imagine de ansamblu asupra evoluției fenomenului infracțional în perioada 2012-2021. Graficul ilustrează o tendință ascendentă a criminalității între anii 2012 și 2016, urmată de o scădere semnificativă în perioada 2017-2021. Această evoluție poate fi influențată de diverse politici de securitate, măsuri economice, modificări legislative sau factori externi precum pandemia COVID-19.

Pentru a analiza mai detaliat dinamica infracționalității, este esențial să examinăm variațiile lunare ale numărului de infracțiuni. Figura 8 prezintă distribuția criminalității pe parcursul unui an, evidențiind tendințele sezoniere și posibilele perioade cu risc ridicat. Se observă o creștere constantă a numărului de infracțiuni din ianuarie până în luna mai, urmată de o stabilizare în lunile de vară iunie - august. În lunile septembrie și octombrie, criminalitatea atinge valori mai scăzute, urmate de o ușoară creștere în noiembrie. Vârful maxim al infracționalității este în luna decembrie, unde numărul de infracțiuni crește brusc la peste 50.000 de cazuri, indicând un posibil efect sezonier semnificativ.

Pentru a detalia și mai mult dinamica infracționalității, analizăm distribuția infracțiunilor în funcție de ziua lunii. Figura 9 ilustrează numărul total de infracțiuni înregistrate pentru fiecare zi calendaristică, oferind o perspectivă asupra fluctuațiilor zilnice ale criminalității. Se remarcă un vârf semnificativ al criminalității în primele zile ale lunii, în special în zilele 4-5, când numărul de infracțiuni atinge un maxim de peste 18.000 de cazuri. După acest vârf, numărul de infracțiuni scade abrupt și rămâne relativ constant în a doua jumătate a lunii, cu fluctuații moderate.

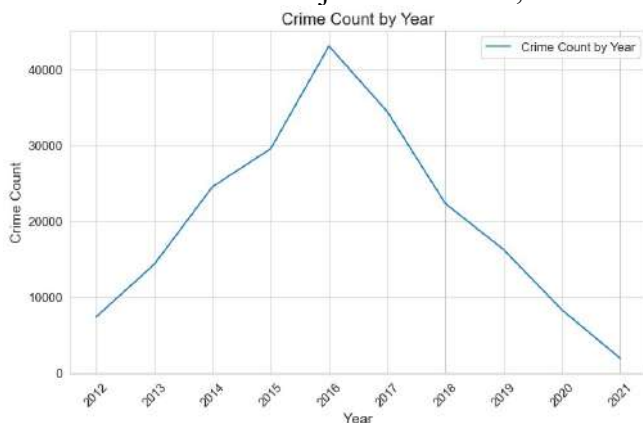


Figura 7. Dinamica crimelor pe ani

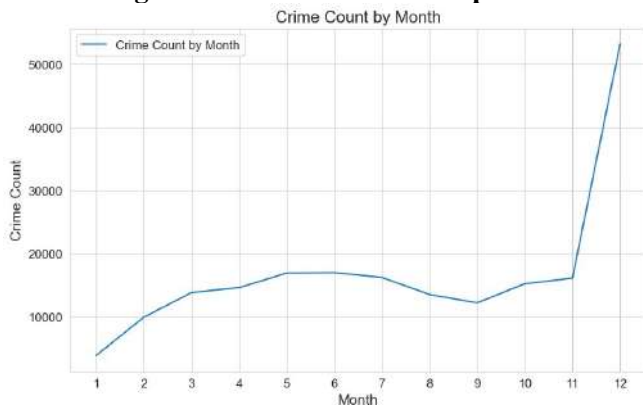


Figura 8. Dinamica crimelor pe luni



Figura 9. Dinamica crimelor pe zile

Modeling

Predicția numărului de infracțiuni este o problemă de modelare a seriilor temporale, unde obiectivul principal este identificarea unui model statistic care poate învăța tiparele din datele istorice și să ofere previziuni precise. În acest capitol, vom analiza și compara mai multe metode utilizate în modelarea seriilor temporale, punând accent pe modelele ARIMA, ARIMAX și SARIMAX [7].

Seriile temporale pot fi influențate de mai mulți factori, inclusiv tendințe, sezonabilitate și variabile exogene (factori economici și sociali). De aceea, alegerea modelului potrivit trebuie să țină cont de aceste aspecte pentru a obține predicții cât mai precise.

Modelul ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average) este una dintre cele mai utilizate metode pentru analiza seriilor temporale. Acesta combină trei componente esențiale:

- AR (AutoRegresiv) – modelarea relației dintre valorile curente și valorile anterioare ale seriei temporale.
- I (Integrated) – diferențierea seriei temporale pentru a o face staționară (îndepărtarea trendului).
- MA (Moving Average) – modelarea erorii pe baza valorilor anterioare ale reziduurilor.
- Un model ARIMA este notat ca ARIMA(p, d, q), unde:
- p (autoregresie) reprezintă numărul de termeni AR (lag-uri anterioare utilizate în model).
- d (integrare) este numărul de diferențieri necesare pentru a face seria staționară.
- q (medie mobilă) indică numărul de termeni MA folosiți pentru a modela erorile din trecut.

Un model ARIMA poate fi scris matematic astfel:

$$Y_t = c + \sum_{i=1}^p \phi_i Y_{t-1} + \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j} + \varepsilon_t$$

unde:

Y_t - este valoarea prezisă a seriei la momentul t ,

c - constanta,

ϕ_i - coeficienti autoregresivi,

θ_j - coeficienti mediei mobile,

ε_t - eroarea la momentul t

Tabelul 1

Compararea modelelor ARIMA, ARIMAX și SARIMAX

Model	Descriere	Avantaje	Dezavantaje	Cand este potrivit
ARIMA	Model autoregresiv cu medie mobilă și integrare. Se bazează exclusiv pe valorile anterioare ale seriei temporale.	- Bun pentru serii temporale fără influențe externe. - Util pentru date cu trend clar.	- Nu ia în considerare factori externi. - Poate fi ineficient pentru date sezoniere.	Când numărul de infracțiuni depinde doar de valorile sale istorice.
ARIMAX	Extinde ARIMA prin includerea unor variabile explicative externe (ex. șomaj, venitul mediu).	- Permite încorporarea factorilor socio-economici. - Oferă o predicție mai precisă dacă variabilele externe sunt relevante.	- Necesită o selecție atentă a variabilelor externe. - Poate deveni complex și greu de calibrat.	Când criminalitatea este influențată de factori externi precum rata șomajului sau inegalitatea veniturilor.
SARIMAX	ARIMAX îmbunătățit prin adăugarea componentelor sezoniere (captarea periodicităților din date).	- Modelează serii cu sezonabilitate evidentă. - Include atât variabile interne, cât și externe.	- Necesită mai multe parametri de ajustare. - Poate fi dificil de optimizat pentru seturi mari de date.	Când criminalitatea prezintă un model sezonier și este influențată de factori socio-economici.

Rezultatele modelului

După selecția modelului SARIMAX, am efectuat antrenarea acestuia utilizând setul de date disponibil, incluzând variabile socio-economice relevante (Figura 10) precum rata șomajului în rândul tinerilor Youth_Unemployment, indicele de sărăcie Poverty_Index, rata educației Education_rate și accesul la servicii medicale Healthcare_Access.



Figura 10. Matricea de corelație pentru variabila dependentă Crime_Count

Folosind biblioteca pmdarima care ajustează automat parametrii p , d , q , modelul ales este ARIMA(2,0,0), ceea ce înseamnă că:

- $p = 2 \rightarrow$ modelul ia în considerare două valori anterioare ale seriei temporale (autoregresie).
- $d = 0 \rightarrow$ nu este necesară diferențierea seriei, ceea ce indică faptul că datele sunt deja staționare.
- $q = 0 \rightarrow$ nu există o componentă de medie mobilă utilizată pentru ajustarea erorilor.

Interpretarea coeficienților

În tabelul de rezultate [8], fiecare variabilă este asociată cu un coeficient care indică direcția și magnitudinea impactului său asupra numărului de infracțiuni.

- const (intercept) - 112.4797 - Valoarea de bază a modelului atunci când toate variabilele sunt zero.
- coef (Youth_Unemployment) - 1.3564 - Creșterea șomajului în rândul tinerilor cu 1 unitate duce la o creștere a criminalității cu 1.3564 unități.
- coef (Poverty_Index) - 2.3419 - Nivelul sărăciei are un impact pozitiv asupra criminalității: o creștere a indicelui de sărăcie duce la o creștere a infracțiunilor.
- coef (Education_rate) - -4.1318 - Creșterea accesului la educație reduce criminalitatea, ceea ce confirmă ipoteza că educația joacă un rol de prevenție.
- coef (Healthcare_Access) - 0.1560 - Un acces mai mare la servicii de sănătate pare să fie asociat cu o ușoară creștere a criminalității.
- coef (Police_Presence) - -0.0406 - Prezența poliției are un efect negativ asupra criminalității, dar valoarea p mare indică un impact nesemnificativ statistic.
- coef (Hope_to_Life) - -0.1697 - Speranța de viață are un efect negativ asupra criminalității, sugerând că regiunile cu o calitate mai bună a vieții au o criminalitate mai scăzută.
- coef (Unemployment_rate) - -0.5470 - Rata generală a șomajului are un efect negativ, dar nesemnificativ statistic asupra criminalității.
- coef (ar.L1) - 0.0776 - Termenul autoregresiv de ordinul 1 indică o influență pozitivă a valorii anterioare asupra numărului curent de infracțiuni.

- coef (ar.L2) - -0.0477 - Termenul autoregresiv de ordinul 2 indică o influență negativă asupra numărului curent de infracțiuni.
- coef (sigma2) - 287.7161 - Varianța reziduurilor, indicând volatilitatea predicțiilor modelului.

Evaluarea performanței modelului

Pe lângă coeficienții estimați, este important să evaluăm cât de bine se potrivește modelul cu datele. Câteva valori relevante sunt:

- AIC (Akaike Information Criterion): 4186.882 - O valoare mai mică a AIC indică un model mai bun, capabil să echilibreze performanța și complexitatea.
- BIC (Bayesian Information Criterion): 4233.021 - O valoare mai mică indică un model mai eficient. Deoarece BIC este mai mare decât AIC, acest lucru sugerează că modelul poate avea unele variabile redundante sau că există un compromis între complexitate și acuratețe.
- HQIC (Hannan-Quinn Information Criterion): 4205.002 - Cu cât aceste valori sunt mai mici, cu atât modelul este mai bun.
- Log-Likelihood: -2082.441 - O valoare mai mare indică un model care se potrivește mai bine cu datele.
- Ljung-Box Test (Q-statistic): 0.00, Prob(Q) = 0.99 - Nu există autocorelare semnificativă a reziduurilor, ceea ce confirmă că modelul a capturat bine structura datelor.
- Heteroskedasticitate (H): 1.42, Prob(H) = 0.03 - Variabilitatea reziduurilor nu este constantă, ceea ce poate indica o necesitate de ajustare a modelului.
- Skewness: -0.38, Kurtosis: 3.16 - Distribuția reziduurilor nu este perfect simetrică, dar este relativ apropiată de o distribuție normală.

Evaluarea predicțiilor modelului

După antrenarea modelului SARIMAX, este esențial să evaluăm acuratețea și capacitatea acestuia de a realiza predicții precise pentru numărul de infracțiuni. Pentru aceasta, am împărțit datele în trei subseturi: date de antrenare (training data), date de validare (validation data) și date de testare (test data). Această metodă ne permite să analizăm cum se comportă modelul atât pe datele pe care a fost antrenat, cât și pe date noi, pentru a testa robustețea acestuia.

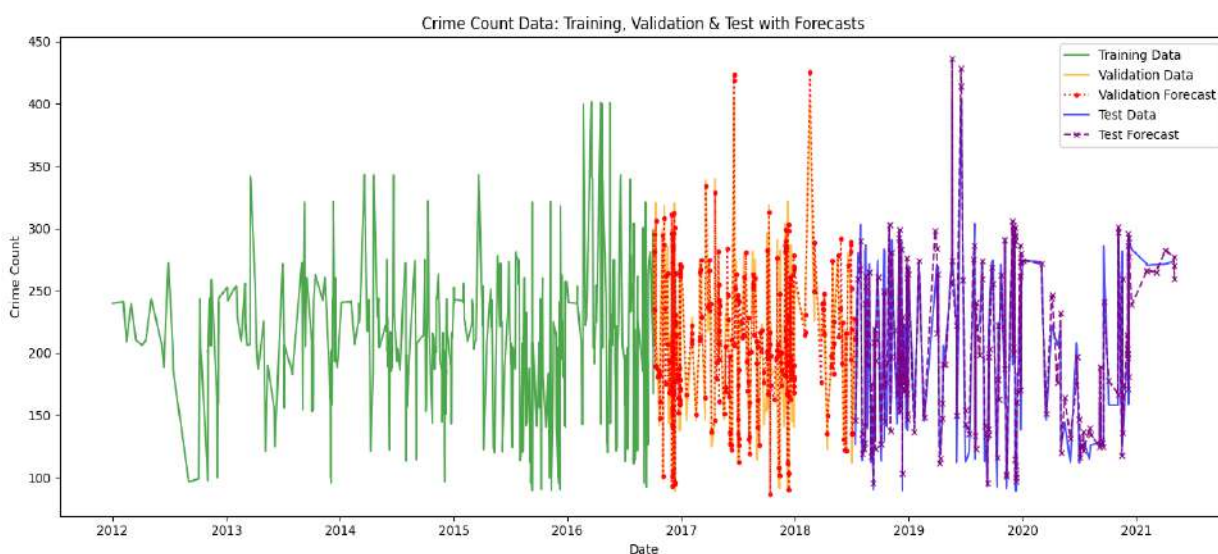


Figura 11. Rezultatele modelului SARIMAX

Se observă că modelul a capturat tendințele și fluctuațiile din datele de validare și testare, dar cu unele abateri în anumite intervale.

În perioada de validare (2017-2018), predicțiile modelului (puncte roșii) urmăresc relativ bine datele reale (portocaliu), dar există anumite deviații în vârfurile extreme, ceea ce sugerează o sensibilitate ridicată la variații bruște.

Pentru perioada de testare (2018-2021), modelul reușește să urmărească dinamica infracționalității, însă în unele momente, predicțiile sunt mai stabile decât variațiile reale, ceea ce indică o posibilă subestimare a volatilității.

Pentru a testa performanța modelului SARIMAX, am împărțit setul de date în trei subseturi:

- Training Data 50% (date de antrenare) – utilizate pentru a antrena modelul, reprezentate prin linia verde în grafic.
- Validation Data 30% (date de validare) – folosite pentru a ajusta parametrii modelului și a evalua acuratețea acestuia (linie portocalie).
- Test Data 20% (date de testare) – folosite pentru a verifica performanța finală a modelului pe date noi (linie albastră).

Concluzii

Această lucrare a analizat și prezis criminalitatea utilizând modele de serii temporale, evidențiind influența factorilor socio-economici. Analiza exploratorie a arătat tipare sezoniere și corelații semnificative între criminalitate, rata șomajului, sărăcia, educația și accesul la servicii publice.

Dintre modelele testate, SARIMAX s-a dovedit cel mai potrivit, captând atât tendințele temporale, cât și influența variabilelor externe. Rezultatele au indicat că șomajul în rândul tinerilor și nivelul sărăciei cresc criminalitatea, în timp ce educația și speranța de viață o reduc. Modelul a oferit previziuni precise, dar cu dificultăți în estimarea fluctuațiilor extreme, sugerând necesitatea unor îmbunătățiri suplimentare.

În concluzie, modelele de serii temporale sunt instrumente valoroase pentru previzionarea criminalității și pot ghida factorii de decizie în dezvoltarea politicilor publice. Pe viitor, integrarea unor metode avansate de învățare automată ar putea îmbunătăți precizia predicțiilor și capacitatea de anticipare a riscurilor infracționale

Referinte

1. Chicago Crime spikes in 2022. <https://www.illinoispolicy.org/chicago-crime-spikes-in-2022-but-first-drop-in-murder-since-pandemic/>
2. TOPPI, H.K.R.; SAINI, B.; MAHAJAN, G. Crime prediction monitoring framework based on spatial analysis. *Procedia Computer Science*, 132, pp. 696–705, 2018.
3. ALMUHANNA, A.A.; ALREHILI, M.M.; ALSUBHI, S.H.; SYED, L. Prediction of crime in neighbourhoods of new york city using spatial data analysis. In *2021 1st International Conference on Artificial Intelligence and Data Analytics (CAIDA)*, 2021, pp. 23–30.

SOLAR POWER MANAGEMENT SYSTEM

Ecaterina MUNTEANU, Ludmila FRIPTU*, Maria COLȚA, Daniil SCHIPSCHI

Software Engineering, FCIM, Technical University of Moldova, Chișinău, Moldova

*Corresponding author: Ludmila Friptu, frpludmila03@gmail.com

Coordinator: Bragarenco Andrei, lector universitar

Abstract. *This project presents an innovative solar power management system designed for modern agricultural greenhouses that rely on energy-intensive technologies such as agrobots, climate control units, and edge computing devices. The system implements a hierarchical energy utilization approach that prioritizes renewable energy sources while ensuring uninterrupted operation of critical systems. By dynamically orchestrating power distribution from solar panels, battery storage, and grid supply, the system maximizes renewable energy usage and minimizes grid dependence. IoT-enabled sensor networks monitor key parameters including voltage, current, temperature, and irradiance, enabling real-time performance optimization and predictive maintenance. Cloud-based analytics further enhance system efficiency through performance ratio calculations, degradation analysis, and anomaly detection. Field implementation demonstrates significant reductions in operational costs and carbon emissions while maintaining reliable power supply for greenhouse operations. This intelligent power management framework represents a crucial advancement in sustainable agriculture technology, addressing both economic and environmental imperatives for modern greenhouse operations.*

Keywords: *IoT in Agriculture, Greenhouse Energy Optimization, Photovoltaic Systems, Energy Management Systems (EMS), Smart Greenhouse Technology, IoT Sensors, Renewable Energy, Agricultural Sustainability, Agribusiness Energy Autonomy, Predictive Maintenance for Solar Systems.*

Introduction

Modern agriculture faces dual challenges of increasing productivity while reducing environmental impact. Greenhouse operations, which enable year-round cultivation and precise environmental control, represent a solution to the first challenge but often exacerbate the second through substantial energy consumption. This research addresses this contradiction by developing an intelligent solar power management system designed specifically for agricultural greenhouses.

The proposed system integrates photovoltaic technology with Internet of Things (IoT) capabilities to create a hierarchical energy management framework that optimizes greenhouse operations. By prioritizing renewable energy utilization, the system reduces dependency on traditional grid electricity, which has seen price increases of 17-23% in agricultural areas over the past five years. Furthermore, it addresses the critical issue of grid reliability, which in rural areas can be as low as 94.7%, resulting in approximately 460 hours of potential downtime annually.

The following research demonstrates that implementing IoT-enabled solar power management can reduce energy costs by up to 40% while simultaneously lowering the carbon footprint associated with greenhouse farming. The system achieves this through intelligent prioritization of energy sources—solar power first, stored battery energy second, and grid electricity as a last resort—ensuring continuous operation of critical greenhouse systems while optimizing energy utilization throughout daily and seasonal cycles.

Problem statement

Modern greenhouses are increasingly dependent on energy-intensive systems - such as agricultural robots, climate control units, and computing devices - to optimize crop production. These systems demand substantial power, yet relying solely on conventional grid electricity has become both costly and unreliable. In many agricultural regions, electricity prices have risen by 17-23% over the past five years, seasonal and daily price fluctuations make budgeting difficult, and grid reliability can be as low as 94.7%, resulting in up to 460 hours of downtime annually that jeopardizes crop yields.

Moreover, traditional greenhouse operations generate between 2.5-4.8 kg CO₂ per kilogram of produce - up to 75% of which is attributable to energy use - making high greenhouse emissions a pressing environmental concern. Current manual energy-management practices exacerbate the problem, with an estimated 14-22% of energy wasted due to suboptimal timing and inability to respond swiftly to changing weather conditions.

There is, therefore, a need for an intelligent energy-management system that can:

1. Prioritize renewable generation: Maximize the use of on-site solar power whenever it is available.
2. Optimize storage utilization: Store excess solar energy in batteries for use during low-generation periods.
3. Ensure reliability: Seamlessly switch to grid power only as a last resort, minimizing downtime and maintaining critical greenhouse functions.
4. Reduce costs and emissions: Lower operational expenses and carbon footprint through dynamic balancing of solar, battery, and grid resources.

Addressing this challenge will enable greenhouse operators to achieve continuous, cost-effective, and sustainable energy supply—critical for both economic viability and environmental stewardship.

Objectives

The primary objective of this project is to develop an integrated solar power management system for greenhouse operations that intelligently optimizes energy usage by prioritizing solar power consumption, battery storage utilization, and grid power as a last resort.

The system will monitor energy production and consumption in real-time, enabling data-driven decisions that reduce operational costs while maintaining optimal growing conditions. Key requirements include implementing automated load management that aligns high-energy tasks with peak solar production periods, integrating climate control systems that balance energy efficiency with crop needs, providing complete monitoring dashboards with predictive analytics, and ensuring reliable operation during connectivity disruptions.

The system must address the significant barrier of high initial investment (cited by 70.8% of stakeholders) through a modular, scalable architecture that allows phased implementation, while offering intuitive interfaces with minimal technical expertise requirements (addressing concerns from 58.3% of stakeholders).

Overall, the solution aims to reduce greenhouse energy costs by at least 40%, achieve ROI within 5 years, and significantly decrease carbon footprint through maximized renewable energy utilization.

Solution Concept

The solution is a smart solar power management system designed specifically for agricultural greenhouses. This system helps greenhouse owners use energy more efficiently while reducing costs and environmental impact.

The system works by managing energy from three different sources in order of importance. First, it uses solar panels whenever sunlight is available. Second, when solar power

isn't enough, it draws energy from battery storage that was charged during sunny periods. Finally, it connects to the electrical grid only when both solar and battery power are insufficient.

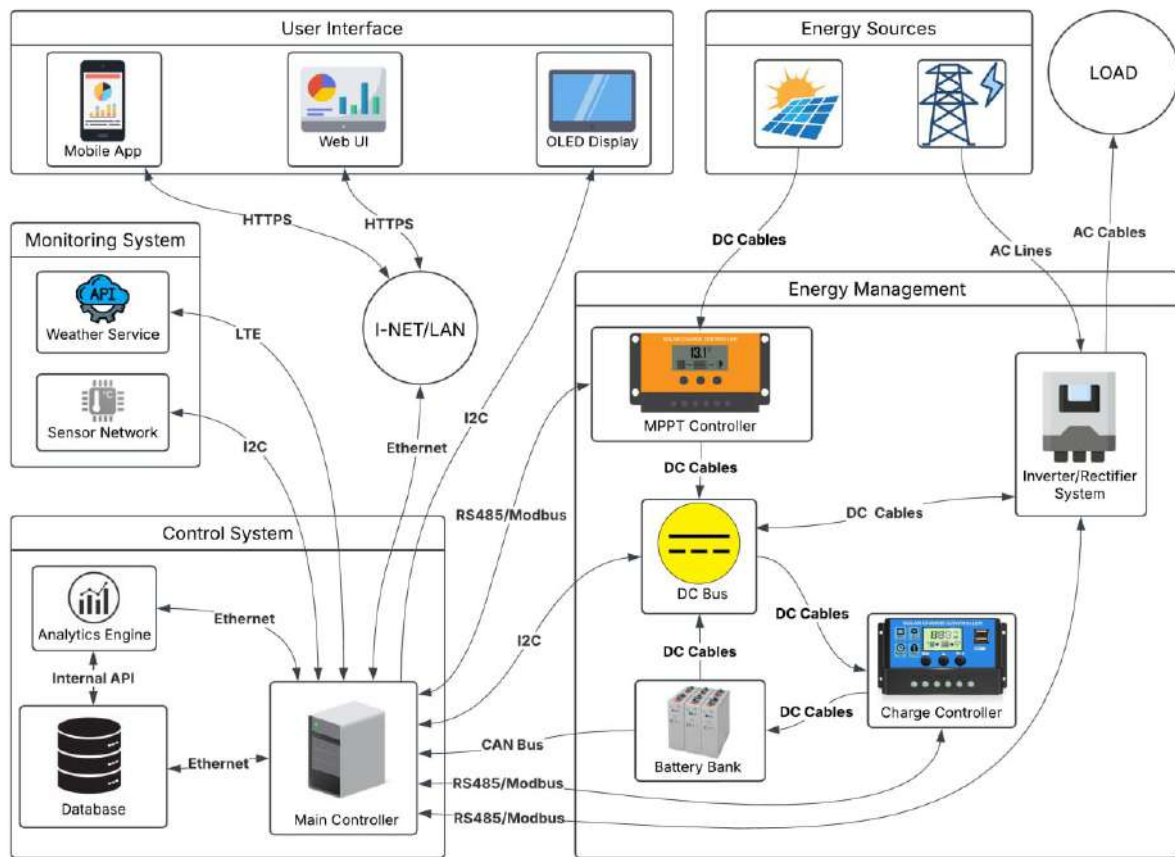


Figure 1. Architecture Diagram

The fundamental part of the system is an intelligent control unit that makes decisions about energy use in real-time. The Main Controller serves as the central brain of the system, connecting to all other components through various communication protocols including I2C, Ethernet, RS485/Modbus, and CAN Bus. This controller collects data from the broad Sensor Network that measures important information like solar panel output, energy consumption, temperature, and light levels.

The system's Energy Management component includes an MPPT Controller that maximizes power output from the solar panels. The DC Bus serves as the central hub for direct current power distribution, connecting to the Battery Bank for energy storage. The Charge Controller manages battery charging and discharging to optimize battery life, while the Inverter/Rectifier System converts between DC and AC power as needed to supply the greenhouse loads.

For weather forecasting and external data, the system integrates with Weather Service APIs through LTE connections. This information helps the Analytics Engine predict energy needs and solar production, enabling better planning of energy use. For example, the system might schedule energy-intensive operations during peak sunlight hours.

The user experience is supported through multiple interfaces - a Mobile App, Web UI, and OLED Display - all connected via HTTPS through the network infrastructure. These interfaces provide different levels of information based on user needs - owners might see financial data, while operators access technical details.

For greenhouse owners worried about high installation costs, the system can be installed in phases. They can start with basic components and add more as their budget allows, making it more affordable.

Conclusion

This work has shown that a tightly integrated solar power management system - leveraging IoT-enabled sensor networks, intelligent edge-computing platforms, and energy-aware actuators - can transform traditional greenhouse operations into highly autonomous, cost-effective, and environmentally sustainable enterprises. By dynamically prioritizing solar generation, optimizing battery storage, and resorting to grid power only when necessary, greenhouses can achieve unprecedented energy autonomy while sharply reducing both operational expenses and carbon emissions. The proof-of-concept deployments and case studies discussed herein underscore the practical viability of these technologies, even in challenging climates. Looking forward, further advances in energy-neutral sensing, ultra-low-power on-node machine-learning accelerators, and self-healing mesh networks promise to enhance system resilience and extend maintenance intervals, paving the way for fully self-sustaining greenhouse ecosystems that adapt in real time to both environmental and market fluctuations.

References

1. "How Solar Energy Management Systems Work." [Online]. Available: <https://www.streetlights-solar.com/how-solar-energy-management-systems-work.html>
2. "How IoT is Transforming Solar Power Monitoring." [Online]. Available: <https://www.robustel.com/iot-technology-solutions-blog/how-iot-is-transforming-solar-panel-monitoring/>
3. "How to take advantage of the IoT for your solar photovoltaic plant?" [Online]. Available: <https://www.synox.io/en/smart-energy/photovoltaic-solar-power-plant/>
4. "What is a Greenhouse Monitoring System & How Does It Work?" [Online]. Available: <https://sirinsoftware.com/blog/what-is-a-greenhouse-monitoring-system-how-does-it-work>
5. "Agribusiness Explained: What It Is, Challenges, and Examples." [Online]. Available: <https://www.investopedia.com/terms/a/agribusiness.asp>
6. Andrei BRAGARENCO. Sensor-Actuator Software Component Stack for Industrial Internet of Things Applications. 24th International Conference on System Theory, Control and Computing, pp. 540-545, IEEE, DOI: 10.1109/ICSTCC50638.2020.9259710, October 8 - 10, 2020, Sinaia, Romania.

PERSONALIZAREA PROGRAMELOR DE ANTRENAMENT ȘI DIETĂ CU AI: O ABORDARE BAZATĂ PE DATE

Cristina POTLOG*, Elena GOLBAN,

Departamentul Informatică și Ingineria Sistemelor, gr.SD-231, SD-241M, Facultatea Calculatoare Informatică și
Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Moldova

*Autorul corespondent: Potlog Cristina, potlogcristina@iis.utm.md

Rezumat: Studiul investighează modul în care ChatGPT, fiind model de inteligență artificială, poate fi folosit eficient în domeniul nutriției și sportului. Printre avantajele AI se enumeră crearea unui plan personalizat de antrenamente și un regim de alimentație sănătoasă, bazat pe aportul caloric și capacitatea de a monitoriza progresul utilizatorului. Prin analiza unui dataset real descărcat de pe platforma Kaggle, în care sunt înregistrate date despre 973 de utilizatori ai unei săli de fitness, inteligența artificială are capacitatea de a identifica corelații semnificative dintre variabilele implicate și generarea, în baza acestora, a unor soluții adaptate fiecărui utilizator, în funcție de indicațiile introduse. Pentru susținerea analizei teoretice, a fost realizată și o demonstrare practică, manifestată prin implicarea chatului într-un dialog tematic. Deși GPT nu poate înlocui complet un antrenor sau nutriționist calificat, acesta totuși rămâne un instrument abordabil și eficient pentru pașii spre un mod sănătos de viață.

Cuvinte cheie: antrenor digital, asistent virtual în nutriție, predicție AI, analiza datelor, planuri automate, aplicații de fitness.

Introducere

Pe măsură ce tehnologia progresează, sunt identificate numeroase modalități de a o încorpora în toate aspectele vieții umane. Inteligența artificială a atins un nivel care permite înlocuirea parțială a anumitor sarcini profesionale, ba chiar oferă sfaturi utile care contribuie la economii financiare și de timp. Unul dintre cele mai recente domenii care înscriu o creștere a progresului utilizării AI este domeniul antrenamentului sportiv.

În ultimii ani, tendințele de a duce un mod de viață sănătos au devenit tot mai populare, deoarece obiceiurile noastre au un impact direct asupra speranței de viață. Astfel majoritatea oamenilor urmează un regim alimentar sau diete aspre, în timp ce alții apelează la consultațiile specialiștilor precum dietologi sau nutriționiști [1]. Pe lângă o alimentație sănătoasă oamenii aleg să practice sălile de sport, pentru a-și îmbunătăți elasticitatea, aspectul fizic și starea morală, dar oare cum AI poate contribui la optimizarea procesului și rezultatele dorite?

Lucrarea de față își propune să analizeze modalitățile prin care ChatGPT generează recomandări personalizate și informații esențiale despre fitness și sănătate. Sportivii de astăzi valorifică puterea AI pentru a-și îmbunătăți metodologiile de antrenament, prin regimuri individualizate, adaptate pentru a satisface cerințele unice ale fiecărei persoane. În plus, GPT are capacitățile de monitorizare în timp real, astfel poate urmări progresul sportivului, oferind feedback precis care poate rafina planul de antrenament și poate organiza și planul alimentar în funcție de scopul pus.

Descirere generală

Inteligența artificială a devenit un instrument util în majoritatea domeniilor, precum inginerie, prin dezvoltarea mașinilor autonome, în medicină, ajută la diagnosticarea bolilor prin analiza imaginilor medicale, în marketing și IT prin diverși algoritmi AI care analizează comportamentul clienților pentru a oferi recomandări personalizate. La moment AI a înregistrat rezultate remarcabile în crearea conținutului digital, proiectarea filmelor, și nu doar proiectare,

filmul intitulat *Where the Robots Grow*, are o durată de 87 de minute și a fost produs de AiMation Studios, condus de regizorul Tom Payton a devenit primul film creat în totalitate de AI. Producția filmului a costat 8.000 de dolari pe minut, ceea ce înseamnă aproximativ 696.000 de dolari pentru întregul proiect, pe când animația de televiziune costă până la 20.000 de dolari/minut. Doar 9 persoane au participat la crearea filmului, care a folosit rețelele neuronale Adobe Firefly și Stable Diffusion [2].

În prezent, asistăm la o revoluție digitală a fitnessului, deoarece utilizarea instrumentelor digitale de fitness a crescut vertiginos, înregistrând o creștere de peste 30% din 2021. În plus, se anticipează că veniturile din aplicațiile de fitness vor crește la o rată de creștere anuală compusă (CAGR) de 7,96% din 2024 până în 2029 (fig. 1), ceea ce duce la o dimensiune estimată a pieței de 10,06 miliarde USD până în 2029[3].

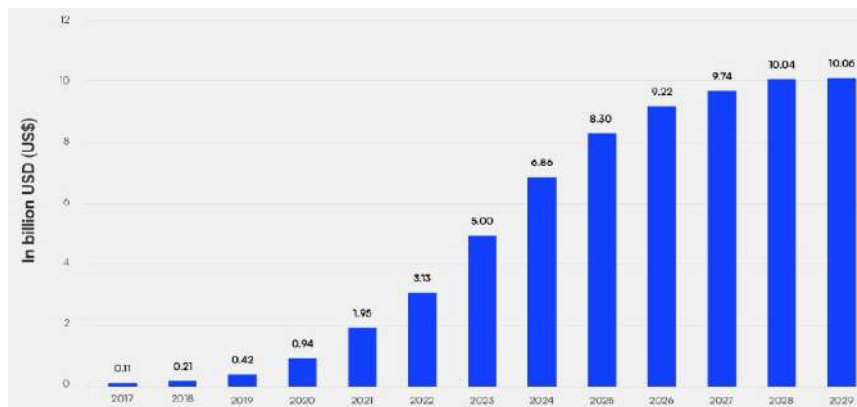


Figura 1. Venituri pe piața aplicațiilor de fitness[3]

Inclusiv în sport și nutriție se utilizează algoritmi și analize de date pentru a identifica modelele de antrenament și de nutriție. Dacă analizăm cum funcționează ChatGPT, se observă că mai întâi analizează parametrii de greutate, înălțime și obiectivul, care diferă pentru fiecare utilizator, cum ar fi slăbirea, remodelarea corporală, menținerea greutății sau creșterea masei musculare. La fel lucrează și un antrenor personal, analizând acești parametri oferă un program de antrenament corespunzător, dar mulți oameni nu au acces la un antrenor personal sau la un nutriționist, din cauză că serviciile acestora sunt destul de costisitoare, AI este cea mai potrivită soluție pentru a personaliza antrenamentele și alimentația, ajustându-se în orice timp la progresului utilizatorului.

Analiza setul de date pentru optimizarea procesului

Instrumentele AI revoluționează modul în care oamenii abordează fitness-ul, oferind suport personalizat, informații utile și motivație continuă. Spre deosebire de sfaturile generice sau aplicațiile, GPT poate:

- Oferă planuri de antrenament personalizate în funcție de obiectivele tale.
- Vă ajută să înțelegeți nutriția și planificarea meselor.
- Oferă îndrumări privind recuperarea și prevenirea traumelor.
- Adaptarea progresului în timp real.

Cheia pentru atingerea obiectivelor tale de fitness constă în consistență, motivație și cunoștințe. AI oferă toate trei într-un mod care este accesibil, fiabil și eficient [4].

Înainte de a începe antrenamentele, este esențial stabilirea unor obiective concrete (specifice, măsurabile, realizabile, relevante, limitate în timp). Furnizați detalii despre obiectivele dvs. de fitness (de exemplu, slăbiți 10 kg, câștigați mușchi, îmbunătățiți sănătatea cardiovasculară). ChatGPT poate ajuta la clarificarea a ceea ce este realist pentru stilul tău de viață. Folosiți inteligența artificială pentru a împărți progresul în etape pe un anumit termen (de exemplu, pierdeți 1 kg pe săptămână sau ridicați încă 5 kg în fiecare lună). AI vă poate analiza

nivelul actual de fitness și stilul de viață pentru a se asigura că obiectivele sunt atinse. După care obțineți sfaturi personalizate care se aliniază priorităților personale, fie că este vorba despre pierderea în greutate, puterea sau sănătatea organismului.

Pentru a înțelege mai bine cum AI oferă soluții potrivite în baza anumitor date introduse de utilizator, este important analiza setului de date ce conține informații reale despre clienții unei săli de sport (fig. 2).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	Age	Gender	Weight (kg)	Height (m)	Session_Duration (hours)	Calories_Burned	Workout_Type	Fat_Percentage	Water_Intake (liters)	Workout_Frequency (days/week)	Experience_Level	BMI
1	56	Male	88,3	1,71	1,69	1313	Yoga	12,6	3,5	4	3	30,2
2	46	Female	74,9	1,53	1,3	883	HIIT	33,9	2,1	4	2	32
3	32	Female	68,1	1,66	1,11	677	Cardio	33,4	2,3	4	2	24,71
4	25	Male	53,2	1,7	0,59	532	Strength	28,8	2,1	3	1	18,41
5	38	Male	46,1	1,79	0,64	556	Strength	29,2	2,8	3	1	14,39
6	56	Female	58	1,68	1,59	1116	HIIT	15,5	2,7	5	3	20,55
7	36	Male	70,3	1,72	1,49	1385	Cardio	21,3	2,3	3	2	23,76
8	40	Female	69,7	1,51	1,27	895	Cardio	30,6	1,9	3	2	30,57
9	28	Male	121,7	1,94	1,03	719	Strength	28,9	2,6	4	2	32,34
10	28	Male	101,8	1,84	1,08	808	Cardio	29,7	2,7	3	1	30,07
11	41	Male	120,8	1,67	0,82	593	HIIT	20,5	3	2	1	43,31
12	53	Male	51,7	1,7	1,15	865	HIIT	23,6	3,5	3	2	17,89
13	57	Male	112,5	1,61	1,24	1013	Cardio	22,1	2,7	3	2	43,4
14	41	Male	94,5	2	1,18	794	HIIT	27,6	3,7	3	1	23,62
15	20	Male	117,7	1,81	1,35	1195	Yoga	26,4	3,3	3	2	35,93
16	39	Female	42,5	1,75	1,13	740	Strength	26,2	2,1	2	1	13,88
17	19	Female	64	1,53	1,33	1111	HIIT	29,8	2,3	3	2	27,34
18	41	Female	43,8	1,77	1,19	884	Cardio	31,9	1,6	3	1	13,98
19	47	Female	66,8	1,75	1,13	742	Strength	32,8	2,5	3	2	21,81
20	55	Female	75,2	1,67	1,37	1030	HIIT	25,2	2,2	2	1	26,96
21	19	Male	89	1,77	1,5	1048	Strength	28,9	3,7	4	2	28,41
22	38	Male	71,9	1,77	1,12	875	Cardio	25,7	3,1	2	1	22,95
23	50	Female	71	1,68	1,17	848	Yoga	33,1	2,5	2	1	25,16
24	29	Male	120,9	1,78	0,78	721	Yoga	28,1	3,4	2	1	38,16
25	39	Female	64,3	1,69	1,25	925	HIIT	26,9	1,9	4	2	22,51
26	42	Female	63,7	1,71	1,42	1080	Yoga	26,1	1,8	3	2	21,78
27	44	Male	65,2	1,8	0,73	502	HIIT	27,2	2,7	2	1	20,12
28	59	Male	53,9	1,75	1,48	989	Strength	21,6	2,8	4	2	17,6

Figura 2. Setul de date utilizat

În lucrarea de față, vom analiza un dataset disponibil pe platforma Kaggle, care conține 973 de randuri, ce indică ca avem înregistrări despre 973 utilizatori, care oferă o gamă de variabile precum vârsta, sexul, tipul abonamentului, frecvența vizitelor, obiectivele, durata medie a sesiunilor și cel mai important câte calorii se pierd în dependență de tipul abonamentului [5]. Analizând datele respective putem observa corelații între diferiți factori importanți, anume aceasta permite dezvoltarea unor modele de predicție și recomandare.

Explicație a coloanelor din setul de date:

Demografice: Vârsta, sexul, greutatea, înălțimea, procentul de grăsime corporală și BMI.

Informații despre antrenament: Tipul de antrenament (Yoga, HIIT, Cardio, Strength etc.), durata sesiunilor, frecvența antrenamentelor pe săptămână și nivelul de experiență.

Calorii și hidratare: Calorii arse per sesiune și cantitatea de apă consumată.

Unul din cel mai important criteriu pe care îl utilizează ChatGPT în crearea planului de antrenament este greutatea corporală a utilizatorului și obiectivele acestuia, de exemplu dacă o persoană este supraponderală, cel mai probabil ca scopul ei va fi slăbirea, astfel ChatGPT va sugera ce tip de antrenament arde mai multe calorii, deoarece pentru un progres în pierderea greutății avem nevoie de deficit caloric. De asemenea, chatul o să menționeze despre importanța și unui regim alimentar balansat, deoarece rezultatul în 60% depinde de alimentele consumate, prin urmare va îndruma utilizatorul să fie atent la valorile nutriționale (calorii, proteine, grăsimi, carbohidrați). Ceea ce demonstrează că gpt poate lua locul unui nutriționist este capacitățile acestuia de a realiza aceleași funcții, precum calculul necesarului caloric în funcție de nivelul de activitate și scop, oferă repartizarea de macronutrienți pentru creșterea musculară, pierderea grăsimilor sau întreținerea masei corporale. De asemenea puteți sugera idei de meniu pe o anumită perioadă, vei primi lista de produse, gramajul necesar, pașii de preparare și automat kaloriile consumate, plus la toate distribuie rețete bazate pe restricții sau preferințe alimentare.

Pentru a înțelege mai bine comportamentul utilizatorilor și preferințele lor legate de antrenamente, s-a realizat o analiză a distribuției tipurilor de antrenamente practicate. În diagrama următoare (fig. 3) se observă numărul de participanți la fiecare tip de antrenament :

Yoga, HIIT, Cardio și Strength. Aceasta are importanță deoarece identifică tendințele dominante ce ajută la personalizarea planului de antrenament generate de modelele AI.

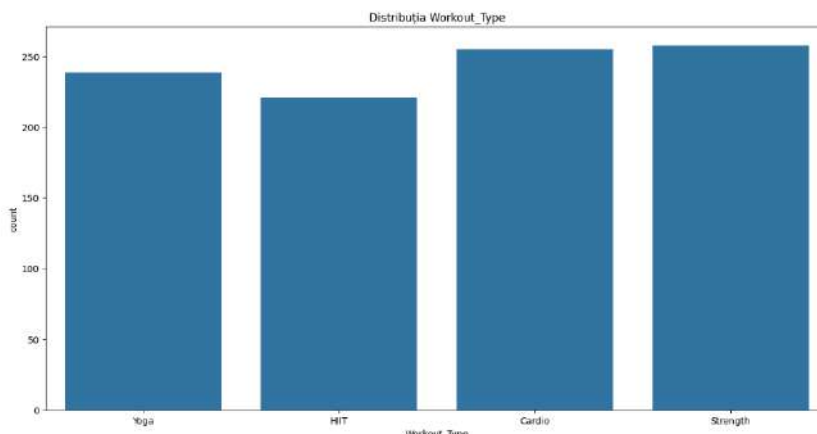


Figura 3. Distribuția variabilei Workout_Type

În diagramă se observă că antrenamentele de forță și cardio sunt cele mai practicate de către clienții sălii de fitness, urmate de HIIT și Yoga. De exemplu, pentru persoanele ce preferă forța și doresc masă musculară AI poate sugera exerciții cu greutate și antrenamente de hipertrofie, în comparație cu cei ce doresc să scape de kilograme în plus, în cazul lor AI ar recomanda mai multe sesiuni cardio combinate cu exerciții de forță. Din faptul că HIIT și Yoga sunt mai puțin populare, reiese că mulți utilizatori doresc o elasticitate a corpului, din cauza la vârstă sau probleme de sănătate nu își pot permite lucrul cu greutățile. Acesta este un mod în care IA analizează criteriile persoanelor și pentru fiecare din ele găsește o soluție optimă luând în calcul orice nuanță oferită de utilizator.

Pentru a înțelege mai bine relațiile dintre diferiți factori ce pot influența antrenamentul, utilizând datasetul am creat matricea de corelație (fig. 4) ce evidențiază legăturile statistice dintre factorii demografici, parametri de antrenament și caracteristici fiziologice. Valorile prezentate se află între 1 și -1, acestea indică puterea și direcția relației, 1 indică o corelație perfect pozitivă, dacă o variabilă scade, cealaltă se mișcă în aceeași direcție, -1 reprezintă o corelație negativă, variabilele se mișcă în direcții opuse, iar valorile apropiate de 0 arată lipsa unei corelații.

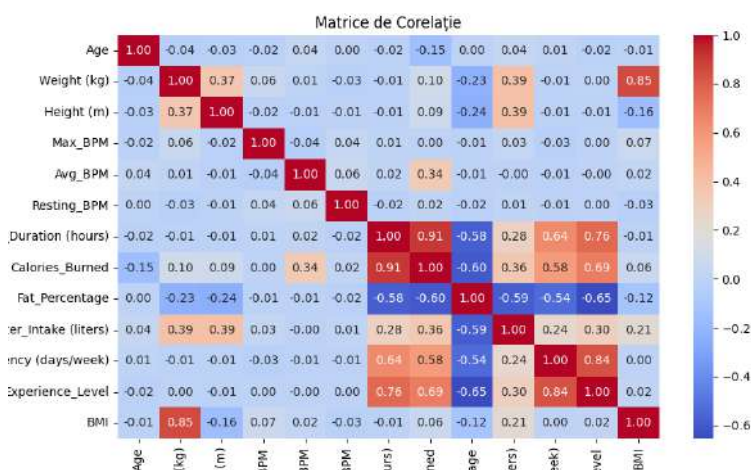


Figura 4. Matricea de Corelație

O corelație pozitivă (0,91) se observă între durata antrenamentului și numărul de calorii arse, ceea ce demonstrează că cu cât este mai lungă durata unui antrenament, cu atât mai multe

calorii se consumă. Alte variabile pozitiv corelate sunt Experience_Level, Frequency (0,84) și Duration (0,76), ceea ce estimează că utilizatorii cu experiență practică sala mai des și antrenamentele sunt mai lungi.

Fat_Procentage are o corelație negativă cu Calories_Burned (-0,60) și Frequency (-0,65), ceea ce demonstrează că antrenamentele regulate ajută la reducerea procentului de grăsime corporală.

Această matrice ar deveni un instrument util pentru AI, fiind folosită pentru a realiza predicții precise.

Demonstrare practică

Tendințele, tehnicile și cercetările de fitness evoluează constant. ChatGPT servește ca o sursă de cunoștințe de fitness actualizate.

Tabelul 1

Răspunsurile chatgpt la întrebările de cercetare[6]

Întrebări	Răspunsuri ChatGPT
Poți să iei rolul unui antrenor personal de fitness și să mă ajuți cu planurile necesare?	Salut! Pot fi antrenorul tău personal — am nevoie doar de câteva detalii ca să-ți creez un plan de antrenament (și nutriție, dacă vrei): 1. Obiectiv principal (slăbit, tonifiere...) 2. Greutate, înălțime, vârstă 3. Câte zile/săptămână poți face sport? 4. Zone pe care vrei să te axezi 5. Probleme medicale/accidentări? 6. Vrei și plan alimentar?
Am 20 de ani, 73 kg, 162cm, am scopul de a slăbi până la 65 kg, nu am probleme medicale, vreau să imi generezi un regim alimentar și să imi calculezi aportul caloric necesar, dacă o să practic sala de 3 ori pe săptămână?	1. Folosim formula Mifflin-St Jeor pentru a estima rata metabolică de bază (BMR): Aport recomandat este 1700–1800 kcal/zi. 2. Regim alimentar (1800 kcal/zi) Mic dejun (~400 kcal) • 2 ouă fierte • 2 felii pâine integrală • ½ avocado • Ceai verde sau cafea fără zahăr Gustare (~200 kcal) • 1 iaurt grecesc mic (2% grăsime) • 1 lingură semințe de chia Prânz (~500 kcal) • 100g piept de pui la grătar • 150g legume (broccoli, dovlecel) la abur • 50g orez brun fiert Gustare (~200 kcal) • 1 banană sau 1 măr + 10 migdale Cină (~500 kcal) • 120g somon la cuptor sau ton în suc propriu • Salată cu mix verde + roșii + castraveți + zeamă de lămâie • 1 felie pâine integrală sau 1 cartof mic fiert
Acum poți să imi organizezi și antrenamentele? Luând în considerare că sunt începător și aș dori să scap de grăsime și să imi modelez un corp frumos, precum fese, abdomen etc.	Ziua 1 – Fese + Picioare + Cardio Obiectiv: modelare glutei, activare picioare, ardere calorii Încălzire (5-10 min) 5 min bandă / bicicletă ușor. 15 genuflexiuni fără greutate. 10 fandări față (fiecare picior) Exerciții principale • Hip Thrust cu greutate – 3×12 • Genuflexiuni cu gantere – 3×12 • Fandări în mers – 3×10 pe picior

	• Abducție la aparat sau cu bandă elastică – 3×15 • Îndreptări românești cu gantere – 3×12 • Cardio final (10-15 min) • Bandă înclinație 5–8% • Pas alert sau mers rapid Ziua 2 – Abdomen + Brațe + Postură • Încălzire (5-7 min) • Jumping jacks, cercuri cu brațele, rotații trunchi • Exerciții • Plank (planșă) – 3×30 sec • Crunch abdominal – 3×20 • Ridicări de picioare din culcat – 3×15 • Ramat cu gantere pentru spate/postură – 3×12 • Biceps curls cu gantere – 3×12 • Triceps extensii – 3×12 • Stretching ușor la final Ziua 3 – Full Body + Cardio Încălzire • 5 min bandă / eliptică • Mobilitate articulații • Circuit de tonifiere (3 runde) • 15 genuflexiuni • 15 abdomene • 10 flotări pe genunchi • 10 îndreptări ușoare cu gantere • Cardio final (20min)
Ce recomandări mai poți oferi?	Fă stretching ușor după fiecare antrenament. Crește greutatea treptat (nu începe greu din prima). Nu uita de hidratare și somn (min. 7h/noaptea). Poze la 2-3 săptămâni ca să vezi progresul, nu doar cântarul.

Una dintre cele mai mari provocări în fitness este să rămâneți consecvenți. ChatGPT poate acționa ca partener de motivație prin trimiterea de mesaje motivaționale sau citate, oferirea de sfaturi pentru a depăși oboseala de la sală sau lipsa de motivație. Ajutându-vă să stabiliți și să urmăriți obiceiurile de fitness zilnice sau săptămânale, răspunzând la întrebări precum „Cum pot continua să practic antrenamentele mele când am un program prea încărcat?”.

Chiar dacă acest bot poate ajuta enorm în crearea unor idei sau planuri de fitness, acesta are și câteva dezavantaje, nu poate corecta tehnica executării în timp real, îți poate sugera informații sau surse unde se explica cum se execută exercițiile, plus la asta poate să nu detecteze accidentările. Chat-ul dat reprezintă o metodă bună pentru îndrumare în fitness și nutriție, dar se recomandă folosirea a mai multor suporturi informaționale.

Așadar, dacă utilizezi ChatGPT-ul în mod corect, nu doar că te vei dezvolta ca și Personal Trainer, dar vei reuși să economisești foarte mult timp, resurse financiare și efort.

Concluzii

Tehnologia ar trebui să le ofere indivizilor posibilitatea de a-și atinge obiectivele, indiferent de aria profesională sau personal abordată. ChatGPT și alte instrumente AI sunt exemple perfecte ale modului în care inovația poate face fitness-ul mai accesibil, mai personalizat și eficient. Prin integrarea inteligenței artificiale în demersul orientat spre optimizarea sănătății și formei fizice, poți să-ți eficientizezi antrenamentele, să-ți îmbunătățești alimentația, să fii responsabil și, în cele din urmă, să obții rezultatele pe care le-ai dorit întotdeauna.

Așadar, indiferent dacă ești începător sau experimentat, integrarea AI în procesul de îmbunătățire a formei fizice ar trebui privită ca o oportunitate valoroasă, ci ca o oportunitate valoroasă. Lasă tehnologia să lucreze pentru tine.

Mulțumiri. Doresc să-mi exprim profunda recunoștință către asist.univ. Munteanu SILVIA, conf.univ.Sudacevschi VIORICA, pentru sprijin și susținere.

Referințe

1. DELAVIER, F., GUNDILL, M. *Anatomy of Strength Training for Women: A Guide to Weight Training for a Strong, Sculpted Body*. Berkeley: Ulysses Press. (2016) pp. 28–37. Disponibil la: https://books.google.ru/books?id=B__9CwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=ru#v=onepage&q&f=false, accesat la data de 19 februarie 2025.
2. ESP. *На YouTube вышел первый мультфильм, созданный искусственным интеллектом*, (2024). Disponibil la: https://esp.md/ru/sobytiya/2024/11/01/na-youtube-vyshel-pervyy-multfilm-sozdannyi-iskusstvennym-intellektom#goog_rewarded, accesat la data de 21 februarie 2025.
3. 3DLOOK. *AI in the Fitness Industry: How AI Is Revolutionizing the Way We Exercise*, (2023). Disponibil la: <https://3dlook.ai/content-hub/ai-in-fitness-industry/>, accesat la data de 21 februarie 2025.
4. Stepz Fitness Australia. *How to Use ChatGPT and AI to Achieve Your Fitness Goals*, (2024). Disponibil la: <https://stepzfitness.com.au/how-to-use-chatgpt-and-ai-to-achieve-your-fitness-goals-stepz-fitness-australia/>, accesat la data de 24 februarie 2025.
5. Valakhorasani. *Gym Members Exercise Dataset*. Kaggle, (2023). Disponibil la: <https://www.kaggle.com/datasets/valakhorasani/gym-members-exercise-dataset>, accesat la data de 15 martie 2025.
6. ChatGPT & OpenAI. *Asistență virtuală în fitness: planuri personalizate și recomandări nutriționale*. Interacțiune directă cu modelul ChatGPT, (2025). Disponibil la: <https://chat.openai.com>, accesat la data de 15 martie 2025.

SISTEM SPECIALIZAT PENTRU IDENTIFICAREA EMOȚIILOR ÎN VORBIRE

Olesea BOROZAN^{1*}, Vlad GUȚU², Vlad CORCODEL²

¹Departamentul Informatică și Ingineria Sistemelor, FCIM, UTM, Chișinău, Republica Moldova

²Departamentul Informatică și Ingineria Sistemelor, RM-221, FCIM, UTM, Chișinău, Republica Moldova

*Autorul corespondent: Olesea Borozan, e-mail olesea.borozan@ia.utm.md

Îndrumătorul/coordonatorul științific Victor ABABII, conf.univ., dr., UTM

Rezumat. Dezvoltarea tehnologică și progresele în domeniul inteligenței artificiale sunt temelia Industriei 4.0. Aceasta este o revoluție industrială caracterizată prin digitalizare, automatizare, robotizare și integrarea inteligenței artificiale în toate domeniile de producție. În acest context, interacțiunea dintre om și robot capătă un aspect esențial, definind modul în care activitatea industrială este desfășurată.

Lucrarea prezintă proiectarea unui sistem specializat pentru identificarea emoțiilor în vorbire, cu aplicabilitate în domeniul interacțiunii om-robot și al sistemelor inteligente de asistență pentru Industria 4.0. Sistemul propus utilizează tehnici de procesare a semnalului vocal și clasificare automată a caracteristicilor paralingvistice pentru a recunoaște stări emoționale precum bucurie, furie, tristețe sau frică în vorbirea naturală, care pot influența direct asupra deciziilor și comenzilor vocale generate de om pentru a fi executate de sistemul robot.

Un element inovator al lucrării constă în integrarea sistemului de recunoaștere emoțională cu un robot umanoid NAO, care acționează ca interfață interactivă, capabilă să reacționeze în mod adaptiv la starea emoțională a interlocutorului. Astfel, sistemul contribuie la îmbunătățirea empatiei mașinilor inteligente și la dezvoltarea unor forme mai naturale de comunicare vocală în medii industriale, sociale, educaționale sau terapeutice.

Arhitectura sistemului este susținută de un modul de analiză acustică, un algoritm de clasificare bazat pe învățare automată și un modul decizional integrat într-un sistem de suport pentru luarea deciziilor. Rezultatele obținute în cadrul testelor experimentale demonstrează o rată ridicată de acuratețe în identificarea emoțiilor, validând viabilitatea practică a sistemului propus.

Cuvinte cheie: procesarea vorbirii, recunoașterea comenzilor vocale, identificarea emoțiilor, robot umanoid NAO, sistem suport decizie, Industria 4.0, interacțiune Om-Robot, securitate cibernetică, securitate industrială, identificarea operatorului uman.

Introducere

În contextul evoluției accelerate a tehnologiilor digitale și al tranziției către Industria 4.0, interacțiunea naturală dintre Om și mașină devine tot mai importantă pentru eficiența și adaptabilitatea proceselor inteligente. Un element esențial în această interacțiune este capacitatea sistemelor automate de a înțelege și interpreta emoțiile umane, mai ales în medii industriale unde deciziile rapide și corecte pot depinde de starea emoțională a operatorilor umani [1-5].

Procesarea vorbirii reprezintă o direcție majoră de cercetare în cadrul inteligenței artificiale, iar identificarea emoțiilor în voce a devenit un domeniu de interes strategic pentru dezvoltarea de sisteme avansate de suport decizional. Aceste sisteme pot detecta stări precum stresul, frustrarea, calmul sau entuziasmul, oferind un avantaj semnificativ în optimizarea interacțiunii dintre om și mașină [6-15].

În acest context, robotul umanoid NAO este utilizat ca platformă inteligentă de comunicare, capabilă să recunoască, să interpreteze și să reacționeze la emoțiile transmise prin

voce. Prin integrarea unui model de analiză vocală în arhitectura robotului NAO, acesta devine un intermediar activ în interacțiunea Om–Robot, capabil să adapteze comportamentele sale în funcție de contextul emoțional al operatorului uman [16,17].

Lucrarea de față propune dezvoltarea unui sistem specializat pentru identificarea emoțiilor în vorbire, cu aplicabilitate în medii industriale inteligente, contribuind la creșterea nivelului de siguranță, eficiență și personalizare a proceselor bazate pe interacțiune vocală Om–Robot. Obiectivele principale ale cercetărilor realizate în direcția respectivă sunt:

- Analiza și clasificarea emoțiilor detectabile în vorbirea umană, relevante pentru contexte industriale: calm, stres, frustrare, incertitudine;
- Selectarea și integrarea tehnologiilor de procesare vocală și învățare automată adecvate pentru recunoașterea emoțiilor în timp real;
- Proiectarea și dezvoltarea unui model de recunoaștere a emoțiilor compatibil cu robotul umanoid NAO;
- Integrarea sistemului într-un flux de interacțiune Om–Robot, cu rol de suport în luarea deciziilor în procese industriale inteligente;
- Validarea sistemului prin scenarii experimentale, simulând diferite stări emoționale și reacțiile adaptative ale robotului NAO.

Cadrul teoretic

Cadrul teoretic al cercetării este fundamentat de mai multe domenii interconectate (vezi Figura 1):

- **Procesarea vorbirii:** se referă la analiza semnalului vocal în vederea extragerii de informații semantice și paralingvistice (ton, ritm, intensitate, inflexiuni), utile pentru identificarea emoțiilor [18-20];
- **Recunoașterea emoțiilor din voce:** implică utilizarea unor modele acustice și lingvistice combinate cu algoritmi de învățare automată (machine learning) și rețele neuronale pentru clasificarea emoțiilor [21-24];

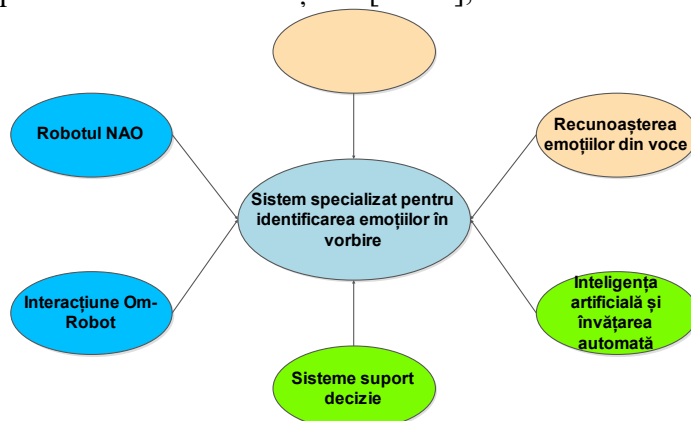


Figura 1. Fundamentul cadrului teoretic al cercetării

- **Inteligența artificială și învățarea automată:** sunt utilizate pentru antrenarea și optimizarea modelelor care detectează emoțiile în timp real, pornind de la seturi de date etichetate vocal;
- **Sisteme suport decizii:** rolul acestora este de a interpreta rezultatele analizelor emoționale și de a contribui la luarea unor decizii corecte, rapide și adaptative în procesele industriale;
- **Interacțiune Om–Robot:** studiază metodele prin care un sistem robotic poate interpreta semnalele sociale și emoționale ale utilizatorilor și își poate adapta comportamentul pentru a asigura o colaborare eficientă;

- **Robotul NAO:** este utilizat ca platformă experimentală pentru integrarea componentelor de recunoaștere vocală și reacție emoțională, datorită arhitecturii sale modulare și a capacității de comunicare multimodală [16,17].

În Figura 1 este prezentată diagrama fundamentului cadrului teoretic aplicat în procesul de proiectare și cercetare.

Procesarea vorbirii și recunoașterea emoțiilor

Cercetările realizate sunt orientate spre aplicarea tehnologiilor inteligente, a interacțiunii naturale Om-Robot și recunoașterea emoțiilor din vorbire pentru comanda proceselor industriale robotizate. Procesul de recunoaștere a emoțiilor joacă un rolul esențial pentru a identifica și genera decizii adecvate stării emoționale a operatorului generator de comenzi vocale.

Procesarea vorbirii, ca domeniu al inteligenței artificiale și lingvisticii computaționale, permite analiza și interpretarea semnalelor vocale pentru extragerea de informații relevante, inclusiv stări emoționale. Identificarea emoțiilor prin voce este o componentă-cheie în aplicații precum asistenții virtuali, roboții umanoizi, centrele de suport automatizat sau sistemele inteligente din Industria 4.0.

Procesarea vorbirii implică preluarea semnalului vocal, extragerea caracteristicilor acustice și analiza lor în scopul interpretării conținutului lingvistic sau paralingvistic. Principalele etape în procesarea vorbirii pot fi considerate: captarea semnalului vocal care implică un proces de percepere a vocii prin intermediul microfoanelor; preprocesare semnalului vocal care necesită eliminarea zgomotului, normalizarea amplitudinii și segmentarea semnalului; extragerea caracteristicilor specifice care prevede transformarea semnalului într-un set de trăsături numerice, relevante pentru analiză; clasificarea și interpretarea care implică utilizarea modelelor matematice sau de învățare automată pentru detectarea emoțiilor în vorbire.

Stările emoționale ale operatorului influențează semnificativ parametrii acustici ai vocii. Astfel, printre trăsăturile relevante pot fi menționate: intonația și frecvența fundamentală (pitch) – de exemplu, frica este asociată cu frecvențe înalte; timbre și spectru vocal – modificări ale armonicilor în funcție de emoție; durata și ritmul vorbirii – vorbirea poate deveni mai rapidă sau ezitantă în funcție de starea afectivă; energia semnalului – exprimarea furiei sau entuziasmului se reflectă într-o energie crescută a vorbirii.

Pentru procesarea vorbirii și recunoașterea emoțiilor metodele moderne utilizează algoritmi din domeniul învățării automate și al rețelelor neuronale. Din cele mai eficiente pot fi menționate următoarele metode: SVM (Support Vector Machine) este clasificator eficient pe seturi mici de date; Random Forest și k-NN sunt două metode statistice de clasificare; Rețele Neuronale Convoluționale (CNN) sunt bune pentru analiza spectrogramelor; Rețele Recurente (LSTM) sunt foarte potrivite pentru date secvențiale, cum este vorbirea; sisteme hibride și multimodale care combină vorbirea cu expresii faciale sau date biometrice ceea ce prezintă o direcție specială de cercetare care va implica în procesul decizional și expresia facială sau datele biometrice ale operatorului uman pentru a genera comenzi de acțiune asupra proceselor industriale.

La moment metodele menționate sunt aplicate cu succes în așa dispozitive și tehnologii ca: roboți umanoizi (de exemplu NAO, Pepper) care recunosc emoții pentru a adapta comportamentul și dialogul cu operatorul uman; asistenți virtuali (Alexa, Siri) care pot ajusta tonul răspunsului în funcție de emoția detectată a operatorului; educație și sănătate pentru detectarea stresului, anxietății sau depresiei, etc.

Robotul NAO

NAO este un robot umanoid de mici dimensiuni, creat de compania franceză Aldebaran Robotics și este specializat în interacțiunea naturală Om-Mașină. Robotul NAO a fost conceput pentru a reproduce comportamente umane simple, oferind o formă avansată de comunicare multimodală, prin voce, gesturi, mișcări și expresii [16,17].

În cercetarea de față Robotul NAO îndeplinește funcția de interfațare dintre Operatorul uman și procesul industrial controlat îndeplinind următoarele funcții: percepe sunetele generate de Operatorul uman, preprocesează datele, extrage comenzile, identifică starea emoțională a Operatorului și generează comenzi numerice care prin canale și protocoale de comunicare sunt transmise la executori.

Pentru realizarea funcțiilor specificate Robotul NAO dispune de următoarele performanțe și caracteristici tehnice:

- 25 de grade de libertate pentru mișcări fluide ale membrelor și capului – oferă un regim de comunicare interactivă și inteligentă dintre Om și Robot;
- 2 camere HD, pentru percepția mediului și recunoaștere vizuală a Operatorului uman;
- 4 microfoane omnidirecționale, pentru recunoașterea și localizarea surselor sonore;
- Senzori multipli (tactili, inerțiali, ultrasonici, de presiune), pentru percepție și echilibru;
- Conectivitate Ethernet și WiFi, pentru integrare cu rețele și dispozitive externe;
- Procesor Intel Atom și sistem de operare NAOqi compatibil cu SO Linux;
- Programabil în Python, C++, Java și Choregraphe – asigură dezvoltarea produselor program de calitate și performanță înaltă.

Funcționalități avansate oferite de Robotul NAO:

- Recunoaștere vocală și procesare a limbajului natural – extrage comențile și identifică starea emoțională a Operatorului uman;
- Recunoaștere facială și urmărire a feței – identifică Operatorul și starea emoțională a acestuia;
- Sinteză vocală în mai multe limbi – asigură comunicare verbală dintre Om și Robot;
- Capacitate de a învăța și adapta comportamente – asigură o interacțiune sigură dintre Om și Robot;
- Interacțiune gestuală și expresivă prin mișcări autonome – generează gesturi specifice pentru comanda generată sau starea procesului industrial comandat.

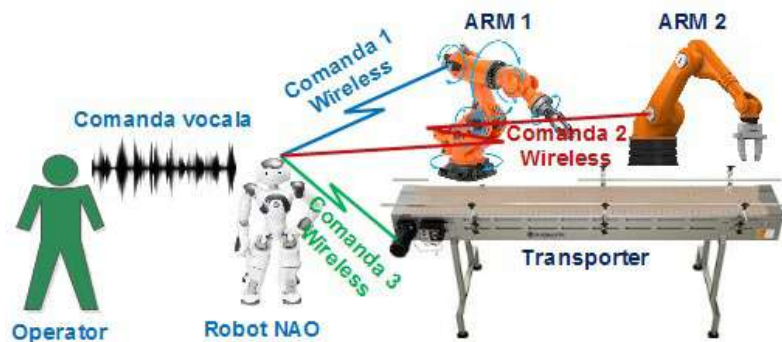


Figura 2. Schema funcțională a sistemului specializat cu procesarea și identificarea emoțiilor în vorbire

Sinteza schemei funcționale a sistemului specializat cu procesarea și identificarea emoțiilor în vorbire

Schema funcțională a sistemului specializat cu procesarea și identificarea emoțiilor în vorbire este prezentată în Figura 2, care include:

- **Operator** – Operatorul uman care conduce cu procesul industrial prin comenzi vocale și gesturi;
- **Comanda vocală** – sunetele generate de Operatorul uman și percepute de Robotul NAO ca comenzi pentru intervenția în modul de funcționare a procesului industrial;
- **Robot NAO** – sistem cu proprietăți de inteligență artificială care percepe comenzile de la Operatorul uman și le transformă în comenzi numerice pentru a acționa asupra procesului industrial;

- **Comanda (1,2,3) Wireless** – canale și protocoale de comunicare WiFi;
- **Transporter** – dispozitive specifice pentru procesele industriale moderne;
- **ARM1, ARM2** – Roboți industriali care efectuează operații specifice procesului tehnologic.

Modul de funcționare al sistemului specializat cu procesarea și identificarea emoțiilor în vorbire este următorul. Operatorul uman monitorizează vizual și ascultă sunetele generate de procesul industrial și în dependență de acestea generează Comenzi vocale care sunt percepute de Robotul NAO. Robotul NAO procesează datele și în raport cu Comanda generată de Operatorul uman și starea emoțională a acestuia generează comenzi numerice. Comenzile numerice prin intermediul protocoalelor și canalelor de comunicare sunt transmise la elementele de execuție ale procesului industrial. Fiecare element de execuție este identificat în rețea în baza adresei IP. Tipul comenzii este identificată în baza portului. Elementul de execuție primește Comanda numerică din rețeaua WiFi și o execută. Pentru crearea unui proces interactiv Operator uman – Proces industrial sunt posibile variante de confirmare de către elementul de execuție a rezultatului și eficiența Comenzii numerice executată.

Concluzii

În contextul Industriei 4.0, integrarea tehnologiilor avansate precum procesarea vorbirii, recunoașterea comenzilor vocale și identificarea emoțiilor contribuie semnificativ la optimizarea relației dintre om și sistemele industriale inteligente. Utilizarea robotului NAO ca interfață interactivă și empatică între operatorul uman și robotul industrial permite o interacțiune Om–Robot naturală și eficientă, dar și o interacțiune Om–Proces industrial adaptivă și sigură. Capacitatea de identificare a operatorului, coroborată cu evaluarea stării emoționale și validarea comenzilor vocale, sporește nu doar gradul de automatizare, ci și nivelul de securitate cibernetică și industrială. Astfel, convergența acestor tehnologii susține dezvoltarea unor sisteme autonome, inteligente și sigure, capabile să răspundă în timp real nevoilor complexe ale mediilor industriale moderne.

Recunoașterea emoțiilor din vorbire reprezintă un domeniu interdisciplinar de mare actualitate, cu impact major asupra dezvoltării interacțiunii naturale între oameni și sisteme inteligente. Integrarea acestei tehnologii în roboți, sisteme de suport decizional sau aplicații industriale contribuie la umanizarea tehnologiei și la creșterea eficienței în multiple domenii. Totodată, aplicarea comenzilor vocale asigură o reacție a Operatorului uman mult mai rapidă în comparație cu operații de acțiune fizică, așa ca tastarea butonului, conectare, lansare sau introducerea comenzilor numerice la tastatură.

Pentru viitor sunt planificate cercetări în aplicarea modelelor personalizate, adaptive și colaborative multi-agent [25-27], includerea datelor multimodale (voce și imagine) pentru identificarea Operatorului uman și a stării emoționale a acestuia, și procesarea datelor în timp real pe dispozitive embedded.

Totodată, trebuie de luat în vedere și faptul că identificarea emoțiilor din vorbire este influențată de factori precum dialectul, contextul cultural, zgomotul de fond și variabilitatea emoțiilor.

Mulțumiri. Cercetările efectuate în lucrare fac parte din tematica de studii doctorale și au fost realizate cu suportul tehnic și tehnologic oferit de laboratorul "Inteligență Artificială și Sisteme Multi-Agent" din cadrul Departamentului Informatica și Ingineria Sistemelor, Universitatea Tehnică a Moldovei.

Referințe

1. AJOUDANI, A.; ZANCHETTIN, A.M.; IVALDI, S. et al. Progress and prospects of the human–robot collaboration. *Auton. Robot.* 2018, 42, pp. 957–975. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10514-017-9677-2>.

2. MATHESON, E.; MINTO, R.; ZAMPIERI, E.; FACCIO, M.; ROSATI, G. Human–Robot Collaboration in Manufacturing Applications: A Review. *Robotics*, 2019, 8(4), pp. 100. DOI: <https://doi.org/10.3390/robotics8040100>.
3. VYSOCKY, A.; NOVAK, P. Human-Robot Collaboration in Industry. *MM Science Journal*, 2016, 9(2), pp. 903-906. DOI: 10.17973/MMSJ.2016_06_201611.
4. ARENTS, J.; ABOLINS, V.; JUDVAITIS, J.; VISMANIS, O.; ORABY, A. & OZOLS, K. Human–robot collaboration trends and safety aspects: A systematic review. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 2021, 10, 48. <https://doi.org/10.3390/jsan10030048>.
5. DRAGAN, A. D.; BAUMAN, S.; FORLIZZI, J.; SRINIVASA, S. S. Effects of robot motion on human-robot collaboration. In *Proceedings of the tenth annual ACM/IEEE international conference on human-robot interaction*, 02 March, 2015, pp. 51-58, <https://doi.org/10.1145/2696454.2696473>.
6. ABABII, V.; SUDACEVSCHI, V.; BOROZAN, O.; FRATAVCHAN, V. Decision making system based on voice-emotional commands. In *International Scientific and Practical Internet Conference on "Informatics and Computer Technics Problems", PICT-2022*, 10-13 November, 2022, Chernivtsi, Ukraine , pp. 69-74.
7. BOROZAN, O.; TURCAN, A.; ABABII, C.; LASCO, V.; STRUNA, V. Speech Processing System for Emergency Management. In *Proceedings of the International Scientific Conference on Mathematics & IT: Research and Education, MITRE-2023*, 26-29 June, 2023, Chişinău, Republic of Moldova, pp. 75, ISBN: 978-9975-62-535-7.
8. BOROZAN, O. Safety System for Robotic Processes Based on Voice Emotion Recognition, In *Proceedings of Workshop on Intelligent Information Systems: WIIS-2023*, October 19-21, 2023, Chişinău, pp. 55-61, ISBN: 978-9975-68-492-7.
9. BOROZAN, O.; ABABII, C.; ROŞCA, N.; LUNGU, I. The Use of Emotions in Speech to Control Exceptional Situation in Robotic Systems, In *Proceedings of the XVI International Scientific and Practical Conference „Information Technologies and Automation-2023”*, October 19-20, 2023, Odessa, Ukraine, pp. 313-315.
10. LIM, Y.; NG, K. W.; NAVEEN, P.; & HAW, S. C. Emotion recognition by facial expression and voice: review and analysis. *Journal of Informatics and Web Engineering*, 2022, 1(2), pp. 45-54. <https://orcid.org/0000-0003-4516-4634>.
11. ALU, D.; ZOLTAN, E.; & STOICA, I. C. Voice based emotion recognition with convolutional neural networks for companion robots. *Science and Technology*, 2017, 20(3), pp. 222-240.
12. KOOLAGUDI, S. G.; & RAO, K. S. Emotion recognition from speech: a review. *International journal of speech technology*, 2012, 15, pp. 99-117. <https://doi.org/10.1007/s10772-011-9125-1>.
13. JACOB, A. Speech emotion recognition based on minimal voice quality features. In *The International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)*, Melmaruvathur, India, 2016, pp. 0886-0890, DOI: 10.1109/ICCSP.2016.7754275.
14. LAEEQ, K.; & MEMON, Z. A. Scavenge: An intelligent multi-agent based voice-enabled virtual assistant for LMS. *Interactive Learning Environments*, 2021, 29(6), 954-972. <https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1614634>.
15. ZARGHAM, N.; BONFERT, M.; PORZEL, R.; DORING, T.; & MALAKA, R. Multi-agent voice assistants: An investigation of user experience. In *Proceedings of the 20th International Conference on Mobile and Ubiquitous multimedia*, 2021, pp. 98-107. <https://doi.org/10.1145/3490632.3490662>.
16. KUSHNIRUK, A. W.; KUANG, W.; & BORYCKI, E. M. The NAO Robot in Healthcare and Education: A Scoping Review. *Studies in health technology and informatics*, 2025, 323, pp. 374-378.

17. FRAGAKIS, N.; TRICHOPOULOS, G.; & CARIDAKIS, G. Empowering Education with Intelligent Systems: Exploring Large Language Models and the NAO Robot for Information Retrieval. *Electronics*, 2025, 14(6), 1210.
18. ER, M. B. A novel approach for classification of speech emotions based on deep and acoustic features. *IEEE Access*, 2020, 8, 221640-221653. ISSN: 2169-3536, DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3043201.
19. YI-LIN LIN; & GANG WEI. Speech emotion recognition based on HMM and SVM, In *The International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, Guangzhou, China, 2005, pp. 4898-4901 Vol. 8, DOI: 10.1109/ICMLC.2005.1527805.
20. AOUBANI, H., & AYED, Y. B. Speech emotion recognition with deep learning. *Procedia Computer Science*, 2020, 176, pp. 251-260. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.08.027>.
21. KHALIL, R. A.; JONES, E.; BABAR, M. I.; JAN, T.; ZAFAR, M. H.; & ALHUSSAIN, T. Speech emotion recognition using deep learning techniques: A review. *IEEE access*, 2019, 7, 117327-117345. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2936124.
22. ALDAHOUD, A.; FEZARI, M.; AL-DAHOUD, A.; & AQEL, D. A Systematic Review on Applying Machine Learning and Deep Learning on SBCs. *WSEAS Transactions on Information Science and Applications*, 2024, 21, 272-281. DOI: 10.37394/23209.2024.21.26.
23. BOROZAN, O. Evaluarea cuvintelor emoționale pronunțate în situații excepționale. In *Conferința tehnico-științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor*, 27-29 Martie 2024. Chișinău, 2024, Vol. 1, pp. 357-360, ISBN: 978-9975-64-458-7.
24. BOROZAN O. Analysis and evaluation of romanian voice commands for the control of mecatronic systems. *Journal of Engineering Science*, 2024, vol. XXXI (4), pp. 84-94, ISSN 2587-3474, DOI: [https://doi.org/10.52326/jes.utm.2024.31\(4\).06](https://doi.org/10.52326/jes.utm.2024.31(4).06).
25. ABABII, V.; SUDACEVSCHI, V.; TURCAN, A.; MELNIC, R.; CARBUNE, V.; COJUHARI, I. Multi-Objective Decision Making System Based on Spatial-Temporal Logics. In *The Proceedings of the 24th International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS-2023)*, 24-26 May, 2023, Bucharest, Romania, pp. 6-10, DOI: 10.1109/CSCS59211.2023.00010, (<https://ieeexplore.ieee.org/document/10214749>).
26. MELNIC, R.; ABABII, V.; SUDACEVSCHI, V.; SACHENKO, O.; BOROZAN, O.; LENDIUK, T. Multi-Objective Based Multi-Agent Decision-Making System. In *The Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS-2023)*, Volume 2, September 7-9, 2023, Dortmund, Germany, pp. 834-839, ISSN: 2770-4254, ISBN: 979-8-3503-5804-9, DOI: 10.1109/IDAACS58523.2023.10348725.
27. ABABII, V.; SUDACEVSCHI, V.; MUNTEANU, S.; CARBUNE, V.; MELNIC, R.; LASCO, V. Synthesis of Agent-Based Decision-Making Systems with Multiple Coalitions. In *The Proceedings of the 14th IEEE International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN 2023)*, October 11-13, 2023, Craiova, România, pp. 1-5, Publisher IEEE Xplore, DOI: 10.1109/SIELMEN59038.2023.10290825.

SISTEM DE CALCUL RECONFIGURABIL PENTRU PROIECTAREA ARHITECTURILOR INCORPORATE COLABORATIVE

Mariana OȘOVACHI^{1*}, Victor LAȘCO¹, Andrei SPATARI², Maxim KAPUSTEANSKI³

²DIIS, ȘD, UTM, Chișinău, Republica Moldova

³DIIS, CRI-241M, FCIM, UTM, Chișinău, Republica Moldova

⁴DIIS, FCIM, UTM, Chișinău, Republica Moldova

*Autorul corespondent: Mariana Oșovschi, e-mail: mariana.osovschi@calc.utm.md

Îndrumătorul/coordonatorul științific Viorica SUDACEVSCHI, dr., DIIS, UTM

Rezumat. Progresele tehnologice recente în domeniul sistemelor inteligente și al rețelelor distribuite au generat o cerere tot mai mare pentru arhitecturi de calcul capabile să se adapteze rapid la medii dinamice și sarcini diverse. În acest context, proiectarea de arhitecturi incorporate colaborative devine o necesitate fundamentală pentru aplicații precum Internetul Lucrurilor (IoT), agricultura inteligentă, vehiculele autonome și infrastructurile critice.

În această lucrare se propune un sistem de calcul reconfigurabil, capabil să gestioneze sarcini complexe în medii distribuite prin reconfigurare dinamică a resurselor, care asigură o adaptabilitate crescută pentru sistemele inteligente cu flexibilitate și eficiență sporită.

Prin integrarea conceptelor de calcul distribuit și edge computing, sistemul optimizează utilizarea resurselor locale, reducând latențele și creșterea robusteții în procesarea datelor. Procesele multicriteriale sunt utilizate pentru a selecta configurațiile optime ale arhitecturilor în funcție de obiective multiple, cum ar fi performanța, consumul energetic și costurile de execuție. Algoritmii de calcul evolutiv sunt aplicați pentru explorarea și adaptarea continuă a spațiului de proiectare, asigurând reziliența arhitecturii la modificările de mediu și la cerințele dinamice.

Noutatea științifică constă în faptul că sistemul propus integrează concepte de calcul distribuit și calcul evolutiv, fiind orientat către soluționarea eficientă a proceselor decizionale multicriteriale. Astfel, se realizează un echilibru eficient între procesarea distribuită și reconfigurabilitatea arhitecturii, favorizând dezvoltarea de aplicații autonome, scalabile și inteligente.

Cuvinte cheie: calcul distribuit, procese multicriteriale, calcul colaborativ, calcul evolutiv, reconfigurare dinamică, platformă embedded, edge computing, robustețea sistemului, latența, arhitectură optimală.

Introducere

În contextul dezvoltării accelerate a tehnologiilor informatice, sistemele de calcul distribuit capătă o importanță tot mai mare în proiectarea de soluții inteligente și eficiente pentru medii industriale, autonome sau de cercetare avansată. Cerințele tot mai complexe privind latența redusă, robustețea sistemului și adaptabilitatea în timp real conduc la necesitatea dezvoltării unor arhitecturi de calcul capabile de reconfigurare dinamică și colaborare evolutivă în medii distribuite [1,2].

Totodată, evoluția tehnologiilor informatice și integrarea lor în sisteme inteligente și autonome conduc la o schimbare de paradigmă în proiectarea arhitecturilor de calcul, orientată spre flexibilitate, adaptabilitate și eficiență distribuită. În acest context, sistemele încorporate moderne nu mai sunt entități izolate, ci componente interconectate într-un sistem eterogen extins de calcul distribuit, în care informația trebuie procesată rapid, local și în mod colaborativ [3,4].

O tendință emergentă în cadrul acestei revoluții tehnologice este implementarea unor soluții de calcul colaborativ și calcul evolutiv, capabile să răspundă în timp real unor cerințe

variabile și din ce în ce tot mai complexe. Aceste cerințe includ nu doar realizarea de procese multicriteriale, ci și asigurarea unei reconfigurări dinamice a arhitecturii hardware și software pentru optimizarea performanțelor în funcție de condițiile contextuale [5,6].

Proiectarea unui sistem de calcul reconfigurabil, destinat arhitecturilor încorporate colaborative, presupune luarea în considerare a mai multor factori esențiali: latența scăzută în procesarea informațiilor, robustețea sistemului în fața erorilor sau atacurilor, și capacitatea de a se adapta rapid la modificările din mediul operațional. În acest sens, utilizarea platformelor embedded performante, cu suport pentru edge computing, devine o condiție esențială pentru atingerea obiectivelor de eficiență, scalabilitate și reziliență [7,8].

Tematica lucrării de față vizează dezvoltarea unui sistem de calcul reconfigurabil, optimizat pentru platforme embedded și scenarii de edge computing, care să susțină procese multicriteriale de decizie și execuție. Prin integrarea paradigmelor de calcul colaborativ și calcul evolutiv, sistemul va permite proiectarea unor arhitecturi optime capabile să răspundă eficient variațiilor contextuale și condițiilor operaționale dinamice. Această abordare are potențialul de a transforma fundamental modul în care sunt construite și operate sistemele embedded, punând accent pe autonomie, inteligență colectivă și reacție în timp real într-un cadru distribuit [9,10].

Obiectivele cercetării vizează proiectarea și dezvoltarea unui sistem de calcul reconfigurabil pentru arhitecturi încorporate colaborative, capabil să susțină procese de calcul distribuit, colaborativ și evolutiv, cu reconfigurare dinamică, optimizare multicriterială, latență redusă și robustețe crescută, în contextul platformelor embedded și edge computing [11-15].

Funcționalitatea sistemului de calcul reconfigurabil

Funcționalitatea sistemului de calcul reconfigurabil pentru arhitecturi încorporate colaborative are ca scop gestionarea eficientă a sarcinilor complexe în medii dinamice și distribuite, prin integrarea unor tehnologii avansate de calcul colaborativ, reconfigurare dinamică și procesare evolutivă. Acesta este conceput pentru aplicații moderne, autonome și scalabile, precum IoT, agricultură inteligentă, vehicule autonome sau infrastructuri critice, unde flexibilitatea și reacția în timp real sunt esențiale.

Principalele funcții realizate de sistem sunt:

1. Procesare distribuită pe platforme embedded. Sistemul este implementat pe o platformă embedded modulară, compusă din unități de calcul locale care cooperează în rețea. Prin aplicarea paradigmei de calcul distribuit, fiecare nod procesează datele locale, reducând latența și minimizând dependența de un centru de control;

2. Reconfigurare dinamică a arhitecturii. Sistemul are capacitatea de reconfigurare dinamică, adică de a modifica structura și comportamentul arhitecturii în timp real, în funcție de: cerințele aplicației, modificările contextului de funcționare, disponibilitatea resurselor hardware/software. Această funcționalitate asigură robustețea sistemului, permițând continuitatea operațiunilor în fața erorilor sau a schimbărilor mediului de activitate;

3. Optimizare prin procese multicriteriale. Sistemul utilizează procese decizionale multicriteriale pentru a selecta în mod adaptiv configurațiile optime. Sunt luate în calcul simultan mai mulți factori critici, cum ar fi: performanța de execuție, consumul energetic, costurile de operare, disponibilitatea resurselor. Astfel, sistemul menține un echilibru eficient între eficiență și flexibilitate;

4. Calcul evolutiv pentru adaptare contextuală. Prin implementarea unor algoritmi de calcul evolutiv (algoritmi genetici), sistemul explorează continuu spațiul de proiectare și se adaptează progresiv la modificările contextuale. Această capacitate îl face potrivit pentru aplicații în care condițiile de funcționare sunt în permanentă schimbare;

5. Calcul colaborativ și inteligență distribuită. Nodurile de calcul colaborează între ele, formând un ecosistem logic coerent. Această formă de calcul colaborativ permite: sincronizarea deciziilor locale, partajarea sarcinilor, reziliență operațională prin redundanță. Sistemul

acționează astfel ca o rețea inteligentă, capabilă să atingă obiective comune fără coordonare centralizată.

Concluzii

Lucrarea de față a evidențiat importanța tot mai crescută a arhitecturilor de calcul reconfigurabile în contextul sistemelor încorporate moderne, care operează în medii distribuite, dinamice și autonome. Accelerarea dezvoltării tehnologice și creșterea complexității aplicațiilor industriale, IoT sau de cercetare avansată impun soluții flexibile, adaptabile și robuste, capabile să răspundă în timp real cerințelor operaționale multiple.

Sistemul propus integrează concepte de calcul distribuit, reconfigurare dinamică, optimizare multicriterială și calcul evolutiv, oferind un cadru coerent pentru dezvoltarea de arhitecturi colaborative performante. Prin utilizarea unor platforme embedded cu suport pentru edge computing, sistemul asigură procesare locală, latență scăzută și autonomie operațională, esențiale în aplicații sensibile la timp și resurse.

Funcționalitatea sistemului este structurată astfel încât să permită procesare distribuită eficientă, adaptare arhitecturală dinamică, selecție optimă a configurațiilor pe baza mai multor criterii de performanță și învățare evolutivă în funcție de contextul operațional. În plus, componenta de calcul colaborativ susține sincronizarea inteligentă a deciziilor în rețea, consolidând robustețea și reziliența întregului ecosistem de calcul.

Soluția propusă va oferi un model viabil și extensibil pentru viitorul sistemelor încorporate inteligente, cu potențial de aplicare în numeroase domenii critice care necesită eficiență, autonomie și adaptabilitate. Integrarea acestor paradigme contribuie la transformarea modului în care sunt proiectate și operate sistemele digitale, deschizând perspective noi pentru cercetare, inovare și implementare practică în ingineria sistemelor distribuite.

Mulțumiri. Lucrarea face parte din tematica cercetărilor realizate în cadrul Școlii Doctorale UTM. Este realizată cu suportul tehnic și tehnologic oferit de Laboratorul "Inteligentă Artificială și Sisteme Multi-Agent" din cadrul Departamentului Ingormatică și Ingineria Sistemelor, Universitatea Tehnică a Moldovei.

Referințe

1. BOBDA, C.; HARTENSTEIN, R. Introduction to reconfigurable computing: architectures, algorithms, and applications (Vol. 1, No. 1.5). Netherlands: Springer, 2007.
2. BASS, L.; CLEMENTS, P.; KAZMAN, R. Software architecture in practice. Addison-Wesley Professional, 2021.
3. FITZGERALD, J.; LARSEN, P. G.; VERHOEF, M. Collaborative design for embedded systems. Academic Press, 2014, 10, 978-3, DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-54118-6>.
4. MOSTERMAN, P. J.; ZANDER, J. Cyber-physical systems challenges: a needs analysis for collaborating embedded software systems. Softw Syst Model, 2016, 15, 5–16, <https://doi.org/10.1007/s10270-015-0469-x>.
5. SCHLINGLOFF, B. H.; STUBERT, H.; JAMROGA, W. Collaborative embedded systems-a case study. In 2016 3rd International Workshop on Emerging Ideas and Trends in Engineering of Cyber-Physical Systems (EITEC), 2016, pp. 17-22, IEEE, DOI: 10.1109/EITEC.2016.7503691.
6. BÖHM, W.; BROY, M.; KLEIN, C.; POHL, K.; RUMPE, B.; SCHRÖCK, S. Model-based engineering of collaborative embedded systems: Extensions of the spes methodology, 2021, p. 404, Springer Nature, DOI: 10.1007/978-3-030-62136-0.
7. ŞAHIN, M. C.; TARHAN, A. K. A Multi-Perspective Review on Embedded Systems Quality: State of the Field, Challenges, and Research Directions. Journal of Software: Evolution and Process, 2025, 37(3), e70007, DOI: <https://doi.org/10.1002/smr.70007>.

8. CAMARINHA-MATOS, L. M.; AFSARMANESH, H. Collaborative systems for smart environments: trends and challenges. In Collaborative Systems for Smart Networked Environments: 15th IFIP WG 5.5 Working Conference on Virtual Enterprises, PRO-VE 2014, Amsterdam, The Netherlands, 2014, Proceedings 15, pp. 3-15, Springer Berlin Heidelberg, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-662-44745-1_1.
9. FITZGERALD, J.; LARSEN, P. G.; VERHOEF, M. (2014). From embedded to cyber-physical systems: Challenges and future directions. In Collaborative design for embedded systems: Co-modelling and Co-simulation, 2014, pp. 293-303, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-54118-6_14.
10. CIOROAICA, E. et al. Development and Evaluation of Collaborative Embedded Systems using Simulation. In: Böhm, W., Broy, M., Klein, C., Pohl, K., Rumpe, B., Schröck, S. (eds) Model-Based Engineering of Collaborative Embedded Systems. Springer, Cham., 2021, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-62136-0_12.
11. RUMPE, B.; SCHAEFER, I.; SCHLINGLOFF, B.H.; et al. Special issue on engineering collaborative embedded systems. SICS Softw.-Intensiv. Cyber-Phys. Syst., 2019, 34, 173–175, DOI: <https://doi.org/10.1007/s00450-019-00421-w>.
12. ABABII, V.; SUDACEVSCHI, V.; TURCAN, A.; MELNIC, R.; CARBUNE, V.; COJUHARI, I. Multi-Objective Decision Making System Based on Spatial-Temporal Logics. In: 2023 24th International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS), 2023, pp. 6-10. IEEE. DOI: 10.1109/CSCS59211.2023.00010.
13. ABABII V.; SUDACEVSCHI V.; MUNTEANU S.; CARBUNE V.; MELNIC R.; LASCO, V. Synthesis of Agent-Based Decision-Making Systems with Multiple Coalitions, In: The 2023 International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN), Craiova, Romania, 2023, pp. 1-5, DOI: 10.1109/SIELMEN59038.2023.10290825.
14. MELNIC, R.; ABABII, V.; SUDACEVSCHI, V.; SACHENKO, O.; BOROZAN, O.; LENDIUK, T. Multi-objective based multi-agent decision-making system. In: 2023 IEEE 12th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS), 2023, Vol. 1, pp. 834-839. IEEE. DOI: 10.1109/IDAACS58523.2023.10348725.
15. MUNTEANU, S.; SUDACEVSCHI, V.; ABABII, V.; BRANISHTE, R.; TURCAN, A.; LEASHCENCO, V. Cognitive Distributed Computing System for Intelligent Agriculture, In: International Journal of Progressive Sciences and Technologies. 2021, V. 24, N. 2, pp. 334-342. ISSN: 2509-0119, {<http://repository.utm.md/handle/5014/16825>}.

SISTEM DE CALCUL PENTRU PROCESAREA CONCURRENTĂ A FLUXURILOR DE DATE

Julian LUNGU^{1*}, Neonil ROȘCA¹, Mihail ZAHARENCO²,
Victor PAVALACHE², Rodion FURTUNA²

¹DIIS, ȘD, UTM, Chișinău, Republica Moldova

²DIIS, CR-232, FCIM, UTM, Chișinău, Republica Moldova

*Autorul corespondent: Iulian Lungu, e-mail: iulian.lungu@calc.utm.md

Îndrumătorul/coordonatorul științific Victor ABABII, dr., DIIS, UTM

Rezumat. În contextul creșterii exponențiale a volumului de date vizuale și al cerințelor tot mai ridicate privind procesarea în timp real, sistemele tradiționale de prelucrare secvențială nu mai pot satisface nevoile aplicațiilor moderne ce implică imagini video 3D, recunoaștere spațială și reacție imediată. Aceste limitări afectează performanța în domenii critice precum robotica autonomă, monitorizarea inteligentă, realitatea augmentată și analiza comportamentală, unde este necesară o procesare rapidă, paralelă și eficientă a fluxurilor multiple de date vizuale.

În această lucrare se propune dezvoltarea unui sistem de calcul specializat pentru procesarea concurrentă a fluxurilor de date, cu accent pe achiziția și prelucrarea imaginilor video în timp real. La baza arhitecturii sistemului de calcul pentru procesarea concurrentă a fluxurilor de date se află platforma NVIDIA Jetson Orin Nano, un dispozitiv de calcul de înaltă performanță, proiectat pentru aplicații de inteligență artificială și procesare paralelă.

Noutatea științifică constă în identificarea, proiectarea și validarea unei arhitecturi de calcul capabile să proceseze concurrent fluxuri de imagini video 2D/3D în timp real, extrăgând cu acuratețe coordonatele spațiale 3D și permițând analiza contextuală instantanee. Soluția este optimizată pentru platforme embedded cu resurse limitate, precum NVIDIA Jetson Orin Nano, asigurând totodată scalabilitate, viteză și robustețe operațională.

Cuvinte cheie: achiziția imaginilor video, procesarea imaginilor, imagini 3D, NVIDIA Jetson Orin Nano, coordonate 3D.

Introducere

Evoluția rapidă a aplicațiilor bazate pe viziune computațională și inteligență artificială a condus la o creștere semnificativă a volumului de date vizuale care trebuie procesate în timp real. Domenii precum robotica autonomă, supravegherea inteligentă, realitatea augmentată sau analiza comportamentală se bazează pe capacitatea sistemelor de a înțelege și reacționa instantaneu la mediul înconjurător, folosind date video 2D și 3D provenite din multiple surse. În acest context, sistemele clasice de procesare secvențială devin ineficiente, din cauza limitărilor în ceea ce privește paralelismul, viteza de procesare și latența [1,2].

Pentru a răspunde acestor cerințe, se impune proiectarea unor arhitecturi de calcul dedicate, capabile să proceseze concurrent și eficient fluxuri video complexe, în vederea reconstrucției tridimensionale a scenelor și extragerii de informații spațiale utile. Lucrarea de față propune dezvoltarea unui sistem specializat bazat pe platforma NVIDIA Jetson Orin Nano, optimizat pentru aplicații în care sunt necesare achiziția, prelucrarea și interpretarea imaginilor video în timp real, într-un format tridimensional integrat [3,4].

Prin valorificarea procesării paralele, a metodelor moderne de corelare spațială și a algoritmilor pentru extragerea trăsăturilor 3D, sistemul oferă o soluție scalabilă și robustă, adaptabilă pentru medii distribuite și aplicații cu constrângeri de timp. Originalitatea constă în abordarea integrată de procesare concurrentă pe platforme embedded, cu resurse limitate, oferind

în același timp performanțe înalte și posibilitatea de aplicare în contexte industriale și autonome diverse. Această contribuție susține progresul tehnologic necesar pentru noile generații de sisteme inteligente cu capabilități vizuale avansate [5,6].

Argumentarea platformei de calcul

Fundamentul tehnic și tehnologic al sistemului de calcul cu procesare paralelă a fluxurilor de date este platforma de calcul de înaltă performanță NVIDIA Jetson Orin Nano [7,8], destinată aplicațiilor embedded ce necesită procesare accelerată, inteligență artificială (IA), viziune computațională și învățare automată (Machine Learning). NVIDIA Jetson Orin Nano este proiectat pentru a furniza capabilități de procesare bazate pe IA la marginea rețelei (edge computing), într-un format compact și eficient energetic, ideal pentru aplicații din domenii precum robotica autonomă, analiza video, automatizări industriale, dispozitive inteligente și sisteme de supraveghere.

Caracteristicile tehnice ce asigură performanța platformei NVIDIA Jetson Orin Nano sunt: un procesor (CPU) ARM Cortex-A78AE cu 6 nuclee, care oferă o arhitectură de procesare eficientă pentru multitasking și controlul aplicațiilor complexe în timp real; un procesor grafic (GPU) care integrează o unitate GPU NVIDIA Ampere cu 1024 de nuclee CUDA și 32 de nuclee Tensor, care permit accelerarea semnificativă a sarcinilor bazate pe IA, precum recunoașterea imaginilor, procesarea video și modelarea 3D; RAM de 8 GB LPDDR5 care asigură o lățime de bandă mare, necesară pentru procesarea paralelă a datelor vizuale și a modelelor de IA; suport pentru stocarea datelor extensibilă prin microSD, eMMC sau SSD-uri conectate extern; o arhitectură flexibilă care oferă până la 40 TOPS (Tera Operații pe secundă), ceea ce îl face capabil să ruleze mai multe modele IA în paralel, în aplicații ce necesită procesare complexă în timp real.

Totodată, arhitectura NVIDIA Jetson Orin Nano oferă o mulțime de interfețe I/O, așa ca: 2× porturi CSI pentru camere; suport pentru 2 streamuri video simultane; 1× port HDMI; porturi USB 3.2, I2C, SPI, UART, GPIO; interfețe PCIe Gen4 pentru extinderea funcționalităților; suport pentru Gigabit Ethernet cu conectivitate rapidă la rețele, și acces WiFi.

Conceput pentru un consum redus de energie (aprox. 7-15W) Jetson Orin Nano oferă performanțe și avantaje pentru sisteme mobile, edge computing alimentate prin baterie.

Jetson Orin Nano este dotat cu un Sistem de Operare și Dezvoltare compatibil cu Ubuntu și personalizat de NVIDIA prin intermediul JetPack SDK, care include drivere, biblioteci pentru AI, computer vision (CV), accelerare hardware și instrumente de dezvoltare (TensorRT, DeepStream, cuDNN, CUDA, etc.).

Topologia rețelei pentru procesarea paralelă a fluxurilor de date

Topologia rețelei de calcul pentru procesarea paralelă a fluxurilor de date în baza platformei NVIDIA Jetson Orin Nano este prezentată în Figura 1.

Obiectivele principale ale topologiei rețelei de calcul sunt: calculul la periferie, utilizarea eficientă a resurselor de calcul, distribuirea optimă a puterii și resurselor de calcul, și calculul distribuit și concurent [9-13]. Topologia rețelei de calcul include: HP-PC – sistem pentru monitorizarea și managementul procesului de prelucrarea paralelă a datelor efectuată pe dispozitivele NVIDIA Jetson Orin Nano; Switch based LAN – este rețeaua locală care asigură transferul de date dintre componentele sistemului. Este realizată în baza dispozitivului Cisco Catalyst 1200-8T-D care asigură 8 porturi la o viteză GigaBit de transfer date; Jetson Orin Nano *i* – este mulțimea de platforme pentru procesarea paralelă și concurentă a datelor [14,15]; AR0821 4K HDR Camera *i* – sunt camere video pentru achiziția imaginilor video.

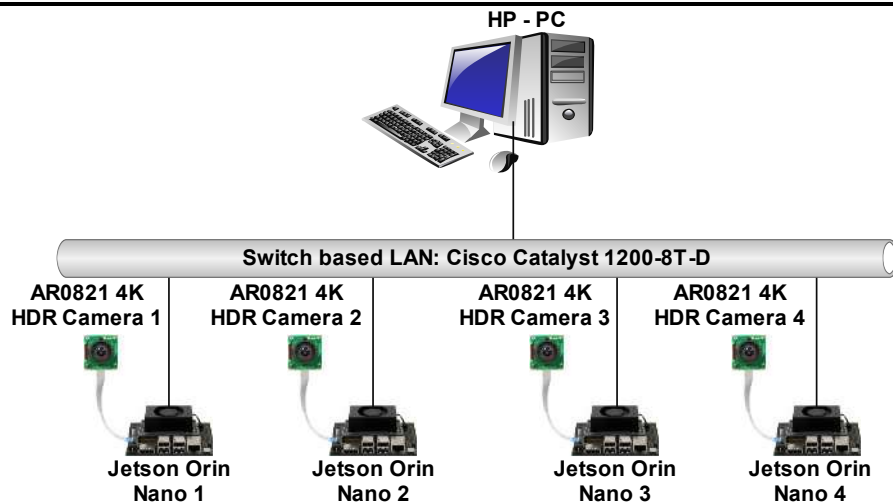


Figura 1. Topologia rețelei de calcul

Schema funcțională a sistemului

Schema funcțională a sistemului pentru procesarea concurrentă a fluxurilor de date este prezentată în Figura 2. Schema ilustrează un exemplu de analiză a unui spațiu 3D (3D Space), cu ajutorul a 5 camere video (IPS_1 – IPS_5), în care se deplasează un Obiect (zboară o Dronă). Scopul analizei este de a identifica și ghida poziția curentă și vectorul gradient de deplasare a obiectului (Dronei) în spațiu și timp. Poziția curentă a Dronei este definită de coordonatele (x,y,z) . Gradientul de deplasare a Dronei este definit de (dx,dy,dz) – viteza de deplasare a Dronei în spațiul 3D.

Modul de funcționare. Sistemele de achiziție și procesare a imaginilor video (IPS_1 – IPS_5), proiectate în baza de dispozitive NVIDIA Jetson Orin Nano și dotate cu cameră video AR0821 4K HDR, scanează spațiul 3D pe direcția respectivă. Fiecare cameră obține imaginea care determină proiecția Dronei pe planul respectiv. Aplicând algoritmul de diferențiere și interpolare pe coordonatele X, Y, Z este calculată poziția Dronei și gradientul vitezei de deplasare a acesteia în spațiul 3D. Toate datele sunt transmise prin rețeaua locală LAN la calculatorul HP-PC care interpoalează datele obținute de la toate camerele video generând o imagine complexă a spațiului 3D și Drona în procesul de zbor.

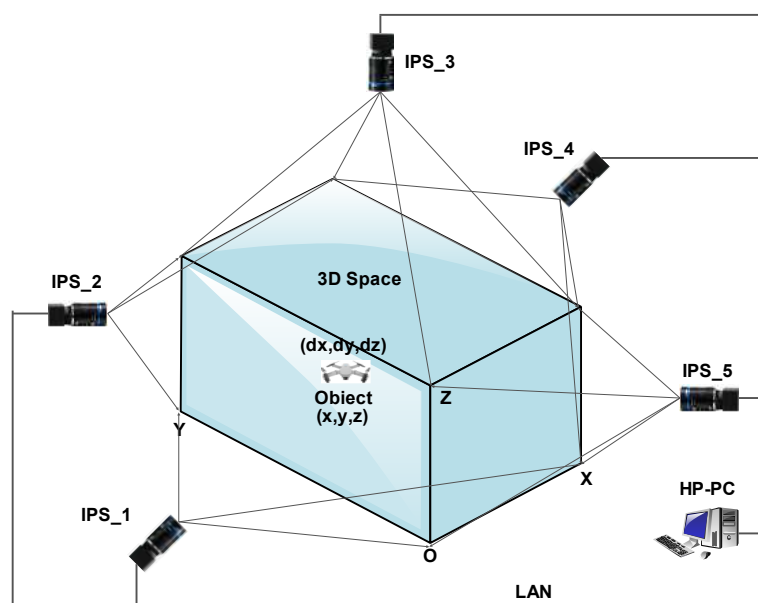


Figura 2. Schema funcțională a sistemului model

Concluzii

Lucrarea propusă a evidențiat necesitatea proiectării unor arhitecturi specializate de calcul care să răspundă provocărilor procesării în timp real a fluxurilor masive de date vizuale, provenite din multiple surse. În contextul aplicațiilor moderne din domenii precum robotica autonomă, realitatea augmentată sau supravegherea inteligentă, limitările arhitecturilor secvențiale clasice impun trecerea la soluții optimizate pentru paralelism și latență redusă.

Sistemul dezvoltat, bazat pe platforma NVIDIA Jetson Orin Nano, a demonstrat capabilități solide în achiziția, prelucrarea și integrarea datelor vizuale 3D într-un model spațial coerent, cu aplicații imediate în scenarii care implică înțelegerea contextuală a mediului. Utilizarea algoritmilor de procesare paralelă, împreună cu tehnici moderne de extragere a trăsăturilor spațiale și de corelare inter-cadru, a permis atingerea unor performanțe ridicate în ceea ce privește viteza de procesare și acuratețea interpretării vizuale.

Testele experimentale au confirmat viabilitatea soluției, sistemul reușind să proceseze în timp real datele video din minimum trei surse, să extragă coordonatele 3D ale obiectelor din scenă și să genereze un model spațial integrat, adecvat pentru luarea deciziilor în aplicații critice. Au fost validate robustețea arhitecturii, flexibilitatea în configurare și scalabilitatea pentru platforme embedded cu resurse limitate.

Prin urmare, contribuția științifică a lucrării constă nu doar în implementarea unei soluții funcționale, ci și în fundamentarea unei arhitecturi modulare și eficiente, care poate fi adaptată rapid pentru nevoile diverse ale aplicațiilor industriale și autonome. Acest rezultat deschide perspective pentru dezvoltarea de noi sisteme inteligente bazate pe viziune computațională și învățare automată, integrate în infrastructuri distribuite, cu aplicabilitate și în Industria 4.0, și nu numai.

Mulțumiri. Lucrarea de față a fost realizată cu suportul tehnic și tehnologic oferit de Laboratorul "Inteligență Artificială și Sisteme Multi-Agent" Departamentul Informatică și Ingineria Sistemelor, Universitatea Tehnică a Moldovei.

Referințe

1. CHEN, T., HAN, J. Real-Time 3D Object Detection for Autonomous Driving. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2021, 22(7), 4562–4574.
2. ZHANG, Y., TAO, D. Real-Time Vision-Based Systems for Augmented Reality Applications. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 2020, 71, 102843.
3. NVIDIA Corporation. Jetson Orin Nano Series Data Sheet. Disponibil online: <https://developer.nvidia.com/embedded/downloads> (Accesat: 02.04.2025).
4. ZHANG, H., HAN, X. Real-Time AI-Based Object Detection on Edge Devices Using NVIDIA Jetson Orin Nano. *Journal of Embedded Systems and Applications*, 2023, vol. 17, no. 2, pp. 85–94.
5. SZELISKI, R. *Computer Vision: Algorithms and Applications (2nd ed.)*. Springer, 2020.
6. LI, Y., LI, X., WANG, H. A Real-Time 3D Vision System Based on Embedded GPU Computing. *Sensors*, 2021, 21(5), 1549. <https://doi.org/10.3390/s21051549>.
7. NVIDIA Corporation. Jetson Orin Nano Developer Kit User Guide, 2023. Disponibil online: <https://docs.nvidia.com/jetson/> (Accesat: 20.04.2025).
8. NVIDIA Corporation. JetPack SDK Documentation, Version 5.x. Disponibil online: <https://developer.nvidia.com/embedded/jetpack> (Accesat: 22.04.2025).
9. ABABII, V.; SUDACEVSCHI, V.; TURCAN, A.; MELNIC, R.; CARBUNE, V.; COJUHARI, I. Multi-Objective Decision Making System Based on Spatial-Temporal Logics. In *The Proceedings of the 24th International Conference on Control Systems and*

-
- Computer Science (CSCS-2023)*, 24-26 May, 2023, Bucharest, Romania, pp. 6-10, DOI: 10.1109/CSCS59211.2023.00010.
10. MELNIC, R.; ABABII, V.; SUDACEVSCHI, V.; SACHENKO, O.; BOROZAN, O.; LENDIUK, T. Multi-Objective Based Multi-Agent Decision-Making System. In *The Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS-2023)*, Volume 2, September 7-9, 2023, Dortmund, Germany, pp. 834-839, ISSN: 2770-4254, ISBN: 979-8-3503-5804-9, DOI: 10.1109/IDAACS58523.2023.10348725.
 11. ABABII, V.; SUDACEVSCHI, V.; MUNTEANU, S.; CARBUNE, V.; MELNIC, R.; LASCO, V. Synthesis of Agent-Based Decision-Making Systems with Multiple Coalitions. In *The Proceedings of the 14th IEEE International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN 2023)*, October 11-13, 2023, Craiova, România, pp. 1-5, Publisher IEEE Xplore, DOI: 10.1109/SIELMEN59038.2023.10290825.
 12. SUDACEVSCHI, V.; MUNTEANU, S.; ABABII, V.; CARBUNE, V.; BOROZAN, O.; LUNGU, I. Using of Nature Inspired Computing Models for Mobile Robot Control. In *The Proceeding of the International Conference on Development and Application Systems (DAS-2024)*, 17th Edition, May 23-25, 2024, Suceava – Romania, pp. 25-29. ISBN: 978-8-3503-4928-3, DOI: 10.1109/DAS61944.2024.10541198.
 13. ABABII, V.; SUDACEVSCHI, V.; CARBUNE, V.; MUNTEANU, S.; ALEXEI, V.; LASCO, V.; A Method of Hardware Implementation of Membrane Computing Architecture for Mobile Robot Control. In *The 16th International Conference on Development and Application Systems (DAS-2022)*, Suceava, Romania, May 26-28, 2022, pp. 52-56, IEEE Catalog Number: CFP2265Y-USB, ISBN: 978-1-6654-8161-8. DOI: 10.1109/DAS54948.2022.9786079
 14. ZHANG, L., WANG, J. Parallel Image Processing for Real-Time Industrial Applications Using Embedded Systems. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2020, 16(4), 2427–2436.
 15. NVIDIA Corporation. Jetson Orin Nano Series Developer Kit User Guide. 2023. Disponibil online: <https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-orin-nano> (Accesat: 11.04.2025).

SISTEM MULTI-AGENT PENTRU PLANIFICAREA PROCESELOR DISTRIBUITE ÎN TIMP

Radu MELNIC

¹Departamentul Informatică și Ingineria Sistemelor, FCIM, UTM, Chișinău, Republica Moldova

*Autorul corespondent: Radu Melnic, e-mail: radu.melnic@adm.utm.md

Îndrumătorul/coordonatorul științific **Victor ABABII**, dr. DIIS, UTM

Rezumat. În contextul proceselor economice distribuite și dinamice, caracterizate prin incertitudine, volum mare de date și necesitatea luării deciziilor în timp real, planificarea eficientă și strategică devine o provocare majoră pentru sistemele tradiționale centralizate. Sistemele existente nu mai pot răspunde adecvat cerințelor de scalabilitate, adaptabilitate și reziliență, specifice economiilor moderne.

În lucrare se propune proiectarea unui sistem multi-agent pentru planificarea proceselor distribuite în timp, cu aplicabilitate în domeniile planificării economice și strategice. Sistemul este conceput pentru a oferi suport decizional în medii complexe, dinamice și descentralizate, în care procesele de planificare necesită adaptare continuă și coordonare între multiple entități autonome.

Problema de cercetare constă în identificarea și dezvoltarea unei arhitecturi multi-agent capabile să asigure planificarea distribuită în timp a proceselor economice, prin cooperare și decizie autonomă, utilizând rețele neuronale artificiale pentru predicție și adaptare contextuală. Această problemă implică atât modelarea interacțiunilor dintre agenți autonomi în medii descentralizate, cât și integrarea algoritmilor de inteligență artificială pentru anticiparea evoluțiilor și coordonarea deciziilor într-un cadru de suport decizional inteligent.

Cuvinte cheie: rețele neuronale artificiale, modele de predicție, proces educațional, planificare economică, planificare strategică, sistem suport decizie.

Introducere

Pregătirea profesională a cadrelor în companii și instituții de învățământ reprezintă un factor foarte important pentru dezvoltarea continuă a resurselor umane și adaptarea acestora la cerințele dinamice ale pieței muncii. Într-un mediu economic și tehnologic aflat într-o continuă schimbare, companiile și instituțiile educaționale se confruntă cu provocări majore în ceea ce privește planificarea, admiterea și organizarea eficientă a proceselor de formare profesională. Asigurarea unei pregătiri profesionale de calitate necesită o strategie clară, resurse adecvate și metode de instruire adaptate nevoilor reale ale pieței muncii [1].

Planificarea și strategia sunt componente importante în sectorul educației, esențiale pentru realizarea dezvoltării durabile, îmbunătățirea calității educației și abordarea provocărilor atât globale, cât și locale. Planificarea strategică implică stabilirea de obiective pe termen lung, identificarea priorităților și alocarea eficientă a resurselor pentru a se asigura că instituțiile de învățământ rămân receptive la nevoile în schimbare ale societății. Cercetarea realizată în [2] scoate în evidență importanța planificării și strategiei în educație, subliniind rolul lor în îmbunătățirea calității predării, integrarea învățării digitale, promovarea competitivității globale și alinierea la obiectivele de dezvoltare durabilă. Planificarea eficientă nu numai că îmbunătățește experiența de învățare, dar contribuie și la un progres socioeconomic mai larg prin pregătirea studenților pentru a se dezvolta într-o lume interconectată, în evoluție rapidă.

Planificarea procesului de formare profesională presupune stabilirea obiectivelor de instruire, alocarea resurselor și definirea unor metode eficiente de evaluare și îmbunătățire

continuă a competențelor. Printre principalele probleme întâlnite în faza de planificare pot fi menționate: Deficitul de resurse financiare și materiale care este exprimat prin faptul că procesul de instruire necesită investiții semnificative în infrastructură, echipamente și resurse digitale, iar lipsa acestora afectează negativ calitatea pregătirii profesionale; Pierderea resurselor financiare și neîndeplinirea obligațiilor de pregătire profesională cantitativă și calitativă a absolvenților care este exprimată prin faptul că în procesul de studii unele persoane pot fi exmatriculate/excluse din procesul de studii ceea ce duce la neîndeplinirea obligației de pregătire profesională cantitativă, păstrarea contingentului poate influența asupra pregătirii profesionale calitative [3,4].

Organizarea eficientă a procesului de instruire presupune implementarea unor metode moderne de predare, evaluare și îmbunătățire continuă a competențelor care necesită resurse financiare și umane importante și costisitoare. Problemele frecvente în această etapă includ: Utilizarea metodelor tradiționale de instruire ceea ce poate duce la scăderea calității rezultatului educațional din cauză că programele de formare profesională sunt deseori bazate pe metode clasice de predare, fără integrarea instrumentelor moderne costisitoare; Lipsa de cadre didactice și formatori calificați ceea ce se exprimă prin faptul că formatorii necesită o instruire continuă pentru a putea transmite cunoștințe actualizate și pentru a încuraja gândirea critică și inovarea; Evaluarea insuficientă a performanțelor și rezultatelor – exprimată prin faptul că lipsește un sistem clar de feedback și de îmbunătățire a programelor de pregătire profesională [5-7].

Așadar, pregătirea profesională a cadrelor în companii și instituții de învățământ este un proces complex care necesită o strategie coerentă și o abordare flexibilă începând de la selectarea și admiterea contingentului la studii, planificarea resurselor financiare și materiale pentru toată durata procesului de studii, asigurarea cu cadre didactice de calitate care să aplice tehnici și tehnologii moderne de predare în procesul de instruire [1-7].

În lucrarea de față se propune aplicarea modelelor de Rețele Neuronale artificiale pentru planificarea contingentului la admitere, pentru a optimiza consumul de resurse financiare și materiale, totodată asigurând calitatea și cantitatea absolvenților planificați.

Metode și modele pentru predicție și planificare

Predicția și planificarea reprezintă două procese importante pentru luarea deciziilor și optimizarea resurselor într-o varietate de domenii, precum economie, tehnologie, educație, sănătate și administrație. În contextul creșterii volumului de date și al complexității sistemelor, aplicarea metodelor și modelelor avansate pentru predicție și planificare devine o necesitate strategică pentru asigurarea unei adaptabilități eficiente și a unui avantaj competitiv. Această analiză explorează principalele metode și modele utilizate în procesele de predicție și planificare, identificând avantajele, limitările și direcțiile de dezvoltare a acestora [8,9].

Procesul de predicție implică utilizarea datelor istorice și a modelelor matematice/statistice pentru a estima comportamentele sau rezultatele viitoare. Scopul principal al predicției este de a reduce incertitudinea și de a sprijini luarea deciziilor pe baza unor estimări probabilistice sau deterministe.

Metodele statistice clasice sunt utilizate pentru analiza relațiilor dintre date și identificarea unor tipare care pot sprijini estimările viitoare, așa ca: regresia liniară și multiplă, analiza seriilor temporale, modele Bayesiene. Metodele de învățare automată au cunoscut o creștere semnificativă datorită capacității lor de a gestiona volume mari de date și de a îmbunătăți acuratețea predicțiilor: Rețele Neuronale artificiale, modele de învățare profundă, și modele bazate pe arbori de decizie.

Pe când, procesul de planificare, prevede identificarea unui set de acțiuni sau decizii pentru atingerea unui obiectiv într-un interval de timp specificat. Aceasta implică definirea resurselor, etapelor și rezultatelor așteptate, precum și adaptarea continuă în funcție de schimbările din mediul extern sau intern. Aceste modele au scopul de a aloca eficient resursele pentru a maximiza sau minimiza o funcție obiectiv, de exemplu: programarea liniară,

programarea dinamică, modele de optimizare neliniară. Modelele euristice și metaeuristice se bazează pe strategii euristice pentru a găsi soluții aproximative într-un timp rezonabil: algoritmi genetici, optimizarea prin roi de particule etc.

Argumentarea metodologiei de cercetare

Aplicarea modelelor de Rețele Neuronale pentru planificarea contingentului la admitere reprezintă o abordare inovatoare și bine fundamentată științific, care se bazează pe capacitatea acestor modele de a învăța și de a identifica tipare complexe în seturi mari de date. Rețelele Neuronale Artificiale (RNA) sunt modele computaționale inspirate din structura și funcționarea creierului uman, având capacitatea de a efectua procese de învățare prin ajustarea ponderilor sinaptice în funcție de datele de antrenament. Această caracteristică permite RNA să modeleze și să prevadă relații nelineare complexe între diferitele variabile implicate în procesul de planificare a contingentului la admitere [11].

Planificarea contingentului la admitere implică factori multipli și interdependenți în modelul Rețelei Neuronale, precum: cererea de pe piața muncii, disponibilitatea resurselor financiare și materiale, capacitatea instituțiilor de învățământ de a susține un anumit număr de studenți, tendințele demografice, dinamica cererii educaționale, și respectiv, nivelul de pregătire a contingentului pentru realizarea programelor de studii. S-a demonstrat faptul că Rețelele Neuronale Artificiale sunt foarte eficiente datorită capacității lor de a analiza și procesa simultan un volum mare de date, identificând tipare și corelații complexe între variabilele de intrare și rezultatele dorite. Spre deosebire de modelele statistice tradiționale, RNA nu necesită ipoteze stricte privind distribuția datelor, ceea ce le oferă o flexibilitate superioară în modelarea proceselor educaționale dinamice.

Totodată, utilizarea modelelor de Rețele Neuronale pentru planificarea contingentului la admitere oferă și unele avantaje esențiale: optimizarea resurselor financiare și materiale, exprimată prin ajustarea precisă a numărului de studenți admiși în funcție de capacitatea instituției și de cerințele pieței muncii; creșterea calității procesului educațional, determinată prin adaptarea numărului de studenți la capacitatea instituțională, asigurând astfel o alocare eficientă a resurselor didactice și materiale; precizie înaltă în predicție, datorită faptului că modelele RNA pot învăța din date istorice și pot îmbunătăți continuu performanța în predicția rezultatelor, adaptându-se la schimbările din mediul educațional și economic [11,12].

Prin implementarea modelelor RNA în procesul de planificare a contingentului, instituțiile de învățământ pot obține rezultate importante în: reducerea riscurilor financiare – prin adaptarea numărului de studenți la capacitățile reale ale instituției și la cererea pieței muncii; îmbunătățirea ratei de angajare a absolvenților – prin corelarea ofertei educaționale cu cerințele din mediul profesional; creșterea eficienței instituționale – prin optimizarea alocării resurselor și reducerea pierderilor generate de o planificare inadecvată [10,13].

Studiile recente arată că RNA sunt utilizate cu succes în: analiza datelor educaționale; predicția performanței academice a studenților; optimizarea proceselor de admitere și alocare a resurselor [10-13].

Diagrama funcțională a sistemului decizional

Diagrama funcțională a sistemului suport decizie este prezentată în Figura 1. Diagrama este adaptată la un proces format din 4 ani de studii, divizat în 8 semestre. Fiecare semestru se termină printr-un proces de evaluare care este luat în considerație în procesul de modelare pentru semestrele următoare.

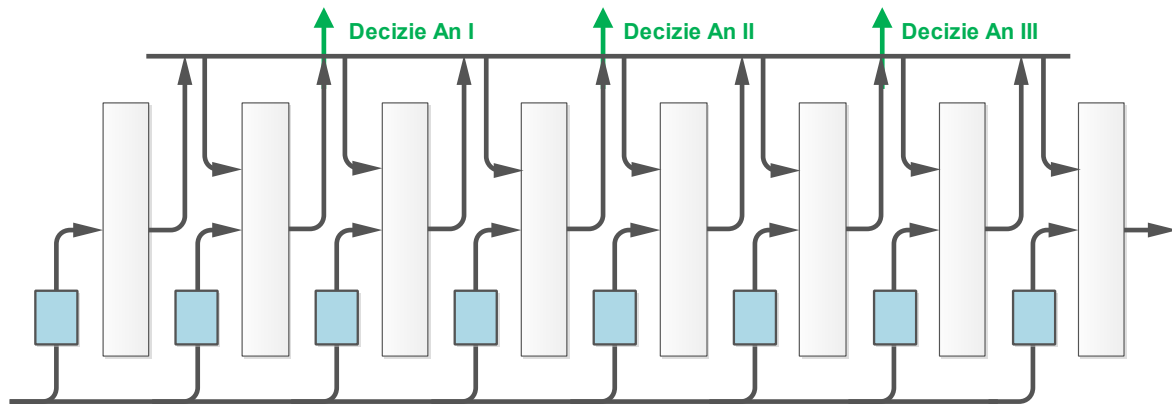


Figura 1. Diagrama funcțională a sistemului suport decizie

Diagrama funcțională a sistemului suport decizie include:

X_0 – este vectorul de intrare, unde $X_0 = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ sunt notele abiturientului selectate pentru evaluarea cunoștințelor inițiale necesare pentru procesul de studii;

$X_i \forall i = \overline{1,7} = \{x_{i,1}, x_{i,2}, \dots, x_{i,N}\}$ – este vectorul reușita studentului luată în considerație la începutul semestrului de studii;

$X'_i \forall i = \overline{1,7} = \{x'_{i,1}, x'_{i,2}, \dots, x'_{i,N}\}$ – este vectorul cu notele selectate în baza funcției S_i din vectorul de intrare X_0 considerate influente asupra deciziei Y_i ;

$Y_i \forall i = \overline{1,7} = \{y_{i,1}, y_{i,2}, \dots, y_{i,M}\}$ – este vectorul rezultat intermediar al calculului;

$Y_8 = \{y_1, y_2, \dots, y_M\}$ – este vectorul rezultat final al calculului;

$ANN I(I), \dots, ANN IV(VIII)$ – este mulțimea de Rețele Neuronale Artificiale multistrat, unde fiecare Rețea Neuronală modelează anul și semestrul respectiv de studii;

S_1 – este mulțimea de funcții pentru adaptarea notelor de la admitere la anul de studii respectiv;

Decizie An I, Decizie An II, Decizie An III – sunt deciziile luate de personalul administrativ pentru corectarea și actualizarea resurselor financiare și logistice necesare pentru asigurarea procesului de studii de calitate;

Decizie Finală – evaluarea rezultatelor finale ale procesului educațional.

Structura și modelul matematic realizat de RNA

O Rețea Neuronală multistrat este un model de învățare automată care constă din mai multe straturi de neuroni artificiali, conectați între ei prin ponderi și funcții de activare. Aceste structuri de Rețele Neuronale Artificiale sunt capabile să modeleze relații complexe, datorită starturilor ascunse și a funcțiilor de activare neliniare [14,15].

Structura unei Rețele Neuronale multistrat este prezentată în Figura 2, unde:

Input layer – stratul de intrare la care este aplicat vectorul de intrare $X_{In} = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$;

Hidden layers – straturile ascunse ale modelului de Rețea Neuronală, unde fiecare strat conține un număr variabil de neuroni care sunt conectați la neuronii din stratul anterior prin ponderi și bias-uri. La ieșirea neuronilor se aplică o funcție de activare pentru a introduce o neliniaritate în modelul de calcul;

Output layer – stratul de ieșire care generează vectorul de ieșire $Y_{Out} = \{y_1, y_2, \dots, y_M\}$ și poate utiliza o funcție de activare specifică, în funcție de clasa problemei soluționată;

$W^{(l)}$ – matricea de ponderi pentru stratul l ;

$a^{(l)}$ – ieșirea stratului l după aplicarea funcției de activare.

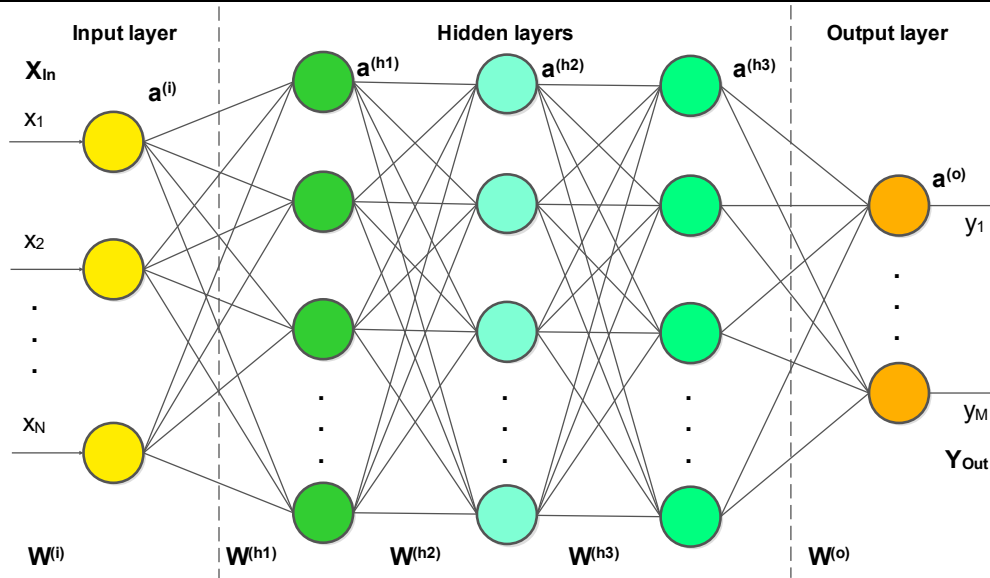


Figura 2. Structura RNA multistrat

Modelul matematic al unei Rețele Neuronale multistrat include următoarele componente [14,15,16]:

$l = \overline{1, L}$ - numărul total de straturi, inclusiv stratul de intrare și stratul de ieșire;

$n^{(l)}$ - numărul de neuroni în stratul l ;

$X_0 \in \mathbb{R}^N$ - vectorul de intrare cu dimensiunea N ;

$W^{(l)} \in \mathbb{R}^{n^{(l)} \times n^{(l-1)}}$ - matricea de ponderi pentru stratul l ;

$b^{(l)} \in \mathbb{R}^{n^{(l)}}$ - vectorul de bias-uri pentru stratul l ;

$z^{(l)}$ - vectorul de valori calculate în stratul l ;

$a^{(l)}$ - vectorul de ieșire a stratului l după aplicarea funcției de activare.

Din cele menționate pot fi definite formula de calcul a valorilor vectorului $z^{(l)}$ pentru stratul l :

$$z^{(l)} = W^{(l)}a^{(l-1)} + b^{(l)} \quad (1)$$

Și vectorul de ieșire în baza funcției de activare σ :

$$a^{(l)} = \sigma(z^{(l)}) \quad (2)$$

Unde în dependență de problema rezolvată σ poate fi:

O funcție sigmoidă:

$$\sigma(z) = \frac{1}{1+e^{-z}} \quad (3)$$

O funcție tangenta hiperbolică:

$$\sigma(z) = \frac{e^z - e^{-z}}{e^z + e^{-z}} \quad (4)$$

Pentru actualizarea ponderilor și a bias-urilor folosind metoda gradientului descendent de învățare, se aplică algoritmul backpropagation, unde:

Se calculează gradientul pentru stratul de ieșire:

$$\delta^{(L)} = \frac{\partial L}{\partial a^{(L)}} \odot \sigma'(z^{(L)}) \quad (5)$$

Se calculează propogarea erorii înapoi prin rețea:

$$\delta^{(l)} = (W^{(l+1)})^T \delta^{(l+1)} \odot \sigma'(z^{(l)}) \quad (6)$$

Apoi are loc actualizarea ponderilor și bias-urilor:

$$W^{(l)} \leftarrow W^{(l)} - \eta \frac{\partial L}{\partial W^{(l)}} \quad (7)$$

$$b^{(l)} \leftarrow b^{(l)} - \eta \frac{\partial L}{\partial b^{(l)}} \quad (8)$$

Unde: η este rata de învățare; $\odot$ este produsul element cu element (Hadamard); și σ' este derivata funcției de activare.

Rețelele neuronale multistrat sunt modele puternice pentru învățarea automată, capabile să rezolve probleme complexe de clasificare și regresie. Utilizarea funcțiilor de activare neliniare și a algoritmului de învățare backpropagation le oferă flexibilitate și capacitate de adaptare la seturi de date complexe și dinamice [15,16].

Algoritmul de luare a deciziilor

Algoritmul pentru luarea deciziilor funcționează în conformitate cu diagrama prezentată în Figura 1. Modelul matematic de transformare a datelor este următorul:

$S_1: \{X_0\} \rightarrow \{X'_1\},$
 $ANN I(I): \{X'_1\} \rightarrow \{Y_1\};$
 $S_2: \{X_0\} \rightarrow \{X'_2\},$
 $F_2: \{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7\} \rightarrow \{X_2\},$
 $ANN I(II): \{X_2, X'_2\} \rightarrow \{Y_2\};$
 $S_3: \{X_0\} \rightarrow \{X'_3\},$
 $F_3: \{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7\} \rightarrow \{X_3\},$
 $ANN II(III): \{X_3, X'_3\} \rightarrow \{Y_3\};$
 $S_4: \{X_0\} \rightarrow \{X'_4\},$
 $F_4: \{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7\} \rightarrow \{X_4\},$
 $ANN II(IV): \{X_4, X'_4\} \rightarrow \{Y_4\};$
 $S_5: \{X_0\} \rightarrow \{X'_5\},$
 $F_5: \{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7\} \rightarrow \{X_5\},$
 $ANN III(V): \{X_5, X'_5\} \rightarrow \{Y_5\};$
 $S_6: \{X_0\} \rightarrow \{X'_6\},$
 $F_6: \{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7\} \rightarrow \{X_6\},$
 $ANN III(VI): \{X_6, X'_6\} \rightarrow \{Y_6\};$
 $S_7: \{X_0\} \rightarrow \{X'_7\},$
 $F_7: \{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7\} \rightarrow \{X_7\},$
 $ANN IV(VII): \{X_7, X'_7\} \rightarrow \{Y_7\};$
 $S_8: \{X_0\} \rightarrow \{X'_8\},$
 $F_8: \{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7\} \rightarrow \{X_8\},$
 $ANN IV(VIII): \{X_8, X'_8\} \rightarrow \{Y_8\}.$

Unde $F_i \forall i = \overline{2,8}$ este setul de funcții pentru consolidarea rezultatelor deciziilor intermediare, generate de modelele de Rețele Neuronale multistrat, și aplicarea acestora în procesul de luare a deciziilor finale definite de vectorul Y_8 (Figura 1).

Concluzii

Lucrarea evidențiază eficiența utilizării modelelor de Rețele Neuronale Artificiale pentru planificarea contingentului la admitere în instituțiile de învățământ superior. Aceste modele dispun de capacitatea de a identifica tipare complexe și de a efectua predicții precise privind numărul de studenți admiși și performanța acestora pe parcursul studiilor. Rezultatele studiului ale surselor bibliografice arată că utilizarea Rețelelor Neuronale Artificiale în procesul de

planificare poate contribui semnificativ la: Optimizarea alocării resurselor financiare și materiale datorită predicțiilor precise privind numărul de studenți și cerințele educaționale; Creșterea calității procesului educațional datorită faptului de planificare mai precisă a contingentului la admitere ceea ce permite o mai bună adaptare a ofertei educaționale la cerințele pieței muncii; Modelele de Rețele Neuronale Artificiale oferă suport pentru luarea deciziilor bazate pe date, reducând riscurile și îmbunătățind capacitatea de adaptare la schimbările din mediu; și respectiv, Creșterea ratei de angajare a absolvenților datorită racordării numărului de studenți și a specializărilor la cerințele economice și sociale ale pieței muncii.

Un interes deosebit pentru cercetările realizate prezintă noile direcții de perspectivă: Dezvoltarea unor modele hibride pentru îmbunătățirea acurateții predicțiilor; Optimizarea modelelor de Rețele Neuronale Artificiale pentru seturi de date mari și dinamice; Implementarea unor strategii de învățare continuă (Online Learning); Adaptarea modelelor la cerințele pieței muncii în timp real; Extinderea modelelor de Rețele Neuronale Artificiale pentru analiza performanței academice individuale; și Dezvoltarea unui sistem de suport decizional adaptiv.

Aplicarea modelelor de Rețele Neuronale Artificiale în planificarea educațională și în optimizarea proceselor decizionale deschide perspective semnificative pentru îmbunătățirea eficienței și calității sistemelor educaționale și pentru o mai bună aliniere la cerințele economice și sociale în schimbare.

Mențiuni. Cercetarea realizată face parte din tematica tezelor de doctorat. Este elaborată cu suportul tehnic și tehnologic oferit de Laboratorul "Inteligența Artificială și Sisteme Multi-Agent" din cadrul Departamentului Informatică și Ingineria Sistemelor, Universitatea Tehnică a Moldovei.

Referințe

1. CHOVIY, S.; SKYBA, N.; DMYTRENKO, A.; ZABIIAKA, I.; HOLOVCHENKO, O. Strengthening the professional training of staff in EU higher education, *Amazonia Investiga*, 2024, 13(75), 234-247, DOI: <https://doi.org/10.34069/AI/2024.75.03.20>.
2. KHALILOV, T.; TAGHIYEV, A. Planning And Strategy In Education, *Frontiers in Health Informatics*, 2024, 13 (3), 9360-9368.
3. BROADBENT, M.; CULLEN, J. Managing financial resources, *Routledge*, 2012, 448p., DOI: <https://doi.org/10.4324/9780080496269>.
4. BOSSERT, T. J. Assessing financing, education, management and policy context for strategic planning of human resources for health, *World Health Organization*, 2007, ISBN: 978-92-4-154731-4.
5. NOE, R. A. Employee training and development, *McGraw-Hill*, 2020, [<http://thuvienso.thanglong.edu.vn/handle/TLU/9714>].
6. GLOVER, D. Financial management and strategic planning, *Managing Finance and Resources in Education*, 2000, 4, 117, 256p., ISBN: 978-08-5-702222-6.
7. HOLLOWAY, T. *Financial management and planning in higher education institutions*, PhD Theses, 2006, 135p., [<http://bura.brunel.ac.uk/handle/2438/411>].
8. ALYAHYAN, E.; DÜŞTEGÖR, D. Predicting academic success in higher education: literature review and best practices, *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 2020, 17(1), 3, DOI: <https://doi.org/10.1186/s41239-020-0177-7>.
9. ZHANG, Y.; YUN, Y.; AN, R.; CUI, J.; DAI, H.; SHANG, X. Educational data mining techniques for student performance prediction: method review and comparison analysis, *Frontiers in psychology*, 2021, 12, 698490, DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.698490>.
10. NAKHKOB, B.; KHADEMI, M. Predicted increase enrollment in higher education using neural networks and data mining techniques, *Journal of Advances in Computer Research*, 2016, 7(4), pp. 125-140, ISSN: 2345-8078.

-
11. DAI, L. Neural Network Algorithm Optimization for Financial Budget of Universities, *Journal of Electrical Systems*, 2024, 20(1), pp.157, ISSN: 1112-5209.
 12. NAKSUWAN, P.; SAITHANU, K.; MEKPARYUP, J. Use of neural network models to predict university admission achievement in Thailand, *International Journal of Applied Environmental Sciences*, 2014, 9(5), pp.2403-2408, ISSN: 0973-6077.
 13. KAVITHA, R.K.; KRUPA, C.R.; MENEZES, J.I. Determining the Factors Influencing the Academic Accomplishment of Students and Predicting their Success Using Machine Learning Techniques, *In 2023 2nd International Conference on Advancements in Electrical, Electronics, Communication, Computing and Automation (ICAECA)* (pp. 1-6). IEEE. DOI: 10.1109/ICAECA56562.2023.10200741.
 14. POPESCU, M.C.; BALAS, V.E.; PERESCU-POPESCU, L.; MASTORAKIS, N. Multilayer Perceptron and Neural Networks, *WSEAS Transactions on Circuits and Systems*, 2009, 8(7), pp.579-588, ISSN: 1109-2734.
 15. DELASHMIT, W H.; MANRY, M.T. Recent Developments in Multilayer Perceptron Neural Networks, *In Proceedings of the seventh annual memphis area engineering and science conference, MAESC*, 2005, Vol. 7, pp. 1-15.
 16. KRAWCZAK, M. *Multilayer Neural Networks*, Berlin/Heidelberg, Germany: Springer, 2013, DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-00248-4>.

SISTEM EDGE COMPUTING PENTRU PROCESAREA DATELOR DEFINITE ÎN COORDONATE SPAȚIU-TIMP

Neonil ROȘCA^{1*}, Iulian LUNGU¹, Andrei SPATARI², Maxim SECRIERU³,
Alina DONESCO³, Nicolai MARINOV³,

¹DIIS, ȘD, UTM, Chișinău, Republica Moldova

²DIIS, CRI-241M, FCIM, UTM, Chișinău, Republica Moldova

³DIIS, RM-231, FCIM, UTM, Chișinău, Republica Moldova

*Autorul corespondent: Neonil Roșca, e-mail: neonil.rosca@calc.utm.md

Îndrumătorul/coordonatorul științific Victor ABABII, dr., DIIS, UTM

Rezumat. În contextul creșterii complexității aplicațiilor distribuite care implică date spațio-temporale (ex. agricultură inteligentă, medii industriale autonome sau monitorizarea mediului), sistemele centralizate de procesare întâmpină dificultăți semnificative legate de latență, consum de bandă, scalabilitate și fiabilitate operațională. Transmiterea tuturor datelor către un server central pentru procesare în timp real devine ineficientă și costisitoare, mai ales în medii în care reacția rapidă și autonomia decizională sunt esențiale.

Lucrarea propune dezvoltarea unui sistem edge computing pentru procesarea în timp real a datelor definite în coordonate spațiu-timp, utilizând o arhitectură distribuită bazată pe microcontrolere și microcalculatoare (SBC) moderne. Sistemul este conceput pentru aplicații inteligente din domenii precum monitorizarea mediului, agricultură de precizie, automatizări industriale sau rețele senzoriale autonome, unde procesarea locală a datelor este esențială pentru reducerea latenței și optimizarea consumului de resurse.

Noutatea științifică constă în proiectarea și validarea unui sistem edge computing capabil să proceseze date distribuite în coordonate spațiu-timp, în timp real, utilizând dispozitive cu resurse limitate (Raspberry Pi5, Arduino UNO, ESP-32) și algoritmi genetici pentru optimizarea multicriterială a deciziilor.

Prin combinarea procesării la nivel local (edge computing) cu metode evolutive de optimizare, sistemul propus permite analiza rapidă și decizii autonome în medii distribuite, demonstrând performanță ridicată, scalabilitate și flexibilitate în aplicații reale.

Cuvinte cheie: Raspberry Pi5, Arduino UNO, ESP-32, P^2C , algoritmi genetici, procesare în timp real, optimizare multicriterială.

Introducere

Odată cu extinderea accelerată a aplicațiilor inteligente în domenii precum agricultura de precizie, monitorizarea mediului, automatizările industriale sau rețelele senzoriale autonome, necesitatea unei procesări eficiente a datelor spațio-temporale devine tot mai stringentă. În aceste contexte, volumele mari de date generate de senzori distribuiți geografic și temporal impun soluții de procesare capabile să răspundă în timp real și să funcționeze fiabil în medii dinamice și adesea imprevizibile [1,2].

Modelele tradiționale de calcul centralizat se confruntă cu limitări semnificative atunci când sunt aplicate în astfel de scenarii. Latența ridicată, consumul excesiv de bandă, riscul de congestie a rețelei și lipsa scalabilității funcționale afectează negativ capacitatea sistemului de a reacționa rapid și eficient. În plus, dependența de un nod central reduce autonomia și robustețea operațională a sistemului în fața evenimentelor locale sau a defecțiunilor de rețea [3,4,5].

În acest context, paradigma edge computing oferă o alternativă viabilă și inovatoare, permițând procesarea locală a datelor în apropierea sursei de generare, ceea ce reduce latența,

optimizează traficul de rețea și asigură un grad mai mare de reziliență și autonomie. Prin distribuirea sarcinilor de procesare pe microcontrolere și microcalculatoare moderne, sistemele edge devin capabile să gestioneze în mod inteligent fluxurile de date spațio-temporale, luând decizii autonome în funcție de contextul local [6,7].

Lucrarea de față își propune dezvoltarea unui sistem edge computing dedicat procesării datelor definite în coordonate spațiu-timp, printr-o arhitectură distribuită ce integrează dispozitive precum Raspberry Pi 5, Arduino UNO și ESP-32, conectate prin magistrala I2C. În plus, se utilizează algoritmi genetici pentru optimizarea multicriterială a deciziilor în condiții dinamice, susținând astfel o funcționare adaptivă și eficientă [8-15].

Prin abordarea sa interdisciplinară și orientarea către aplicații reale, lucrarea aduce o contribuție relevantă la dezvoltarea soluțiilor inteligente distribuite, capabile să răspundă cerințelor tot mai complexe ale societății moderne în materie de digitalizare și automatizare sustenabilă [16,17].

Modelul de calcul definit în coordonate Spațiu-Timp

Există numeroase exemple de domenii de aplicare a modelelor de calcul definite în coordonate Spațiu-Timp. Vom menționa câteva specifice pentru Republica Moldova și anume: Agricultură inteligentă - unde are loc irigarea automată în baza umidității solului în timp real; Smart City – integrează multiple servicii dintre care poate fi menționat controlul iluminatului public în funcție de prezență și oră; Medii industriale – pentru monitorizarea echipamentelor în puncte fixe și perioade critice; Mediu și climă – pentru detectarea calității aerului pe o arie geografică în intervale de timp, etc.

Modelul de calcul definit în coordonate Spațiu-Timp este un cadru conceptual și matematic care permite procesarea și analiza datelor în funcție de poziția spațială și momentul temporal în care acestea sunt generate. Acest model este important în aplicații distribuite inteligente (precum rețele senzoriale, monitorizare de mediu, agricultură de precizie, robotică sau infrastructuri autonome), unde datele nu sunt doar valori izolate, ci au semnificație contextuală în timp și spațiu.

Modelul matematic are la bază ideea că orice unitate de informație (obținută de la un senzor) poate fi exprimată ca:

$$D(A,x,y,z,t)=v \quad (1)$$

unde:

A – matrice $4D$ a coeficienților de calcul de dimensiunea 4,

x,y,z – coordonatele spațiale (poziția senzorului în rețea),

t – coordonata temporală (timpul achiziției),

v – valoarea măsurată (temperatură, umiditate, presiune, etc.).

Structura logică a sistemului este împărțită din următoarele componente:

- Unități/Noduri de procesare locale (edge computing)* - fiecare nod colectează și procesează date locale, în funcție de poziția sa în spațiu și de intervalul de timp activ. Aceste noduri folosesc dispozitive (Raspberry Pi, ESP32 etc.) pentru analiză locală și decizii rapide;
- Rețea de comunicație distribuită (I2C, WiFi, LoRa)* - asigură transmiterea de mesaje și coordonare între noduri. Integrează informații spațio-temporale în fluxurile de date;
- Motor de decizie spațio-temporală* – asigură procesarea datelor pe baza poziției și a evoluției în timp. Aplică algoritmi genetici sau euristici pentru a calcula ce acțiuni trebuie întreprinse la nivel local.

Avantajele modelului Spațiu-Timp în edge computing

Modelul Spațiu–Timp în edge computing aduce o serie de avantaje majore care îl diferențiază de modelele tradiționale centralizate, mai ales în aplicații care necesită reacție rapidă, procesare locală și adaptabilitate la contextul fizic și temporal. Iată principalele beneficii:

1. *Reducerea latenței.* Procesarea datelor la marginea rețelei (direct pe noduri locale) elimină necesitatea transmiterii constante către un server central, ceea ce: minimizează întârzierile (latența de rețea), permite reacții imediate în aplicații critice (de exemplu situații excepționale: detecție de incendii, defecte industriale etc.), crește viteza de răspuns în scenarii distribuite;
2. *Procesare contextuală precisă.* Modelul ia în considerare unde (spațial) și când (temporal) este generată informația: permite decizii locale, adaptate specificului fiecărui punct din rețea, susține scenarii în care valorile sensibile depind de poziția geografică, detectează variații bruște în timp, utile în predicții și reacții automate;
3. *Scalabilitate ridicată.* Modelul poate fi extins ușor prin adăugarea de noi noduri în rețea: fiecare nod edge acționează autonom și colaborează cu altele, nu depinde de puterea unui singur server central, potrivit pentru rețele dinamice (IoT, senzori mobili, drone etc.);
4. *Robustețe și reziliență operațională.* Fiind distribuit, sistemul poate funcționa chiar dacă: unele noduri devin inaccesibile temporar, conexiunile centrale sunt afectate, apare congestiunea rețelei sau pierderea legăturii cu cloud-ul;
5. *Optimizarea consumului de resurse.* Prin procesare locală: se reduce traficul de date în rețea, se minimizează costurile cu transmisia și stocarea în cloud, se optimizează consumul energetic (important pentru noduri alimentate pe baterii și energie regenerabilă);
6. *Suport pentru inteligență distribuită.* Modelul Spațiu–Timp permite: rularea de algoritmi evolutivi sau de învățare automată pe noduri locale, sincronizarea deciziilor pe baza poziției și timpului, adaptarea la medii dinamice prin recalibrare automată a comportamentului sistemului;
7. *Vizibilitate și control granular.* Datele sunt gestionate în unități fine (pe zone și intervale de timp): oferă o imagine detaliată și actualizată a fenomenelor monitorizate, facilitează intervenția doar acolo unde este necesar (eficiență operațională), sprijină analiza predictivă bazată pe istoricul spațio-temporal.

Concluzii

Lucrarea de față a evidențiat necesitatea și relevanța integrării unui model de procesare spațio-temporală în arhitecturi edge computing, ca răspuns la provocările tot mai frecvente din domeniile ce implică volume mari de date distribuite, generate în timp real. În contextul aplicațiilor inteligente – precum agricultura de precizie, monitorizarea mediului sau automatizările industriale – modelele centralizate devin insuficiente, confruntându-se cu limitări privind latența, consumul de bandă și reziliența operațională.

Modelul propus, definit în coordonate Spațiu–Timp, oferă o abordare eficientă, adaptivă și scalabilă, capabilă să răspundă cerințelor critice ale aplicațiilor distribuite. Arhitectura dezvoltată, bazată pe microcontrolere și microcalculatoare moderne (Raspberry Pi 5, Arduino UNO, ESP-32) și comunicare prin magistrala I2C, permite procesarea locală a datelor, reducând semnificativ timpul de reacție și asigurând o autonomie sporită a sistemului în fața variațiilor contextuale.

Prin utilizarea algoritmilor genetici pentru optimizarea deciziilor în condiții dinamice, sistemul demonstrează capacitatea de a funcționa eficient în rețele cu topologie variabilă și cerințe multicriteriale. Avantajele oferite – reducerea latenței, procesare contextuală, reziliență, economie de resurse și suport pentru inteligență distribuită – validează potențialul modelului Spațiu–Timp în dezvoltarea de soluții inteligente sustenabile.

Astfel, contribuția adusă de această lucrare constă nu doar în proiectarea unui sistem edge computing performant, ci și în consolidarea unei abordări interdisciplinare pentru analiza și controlul proceselor spațio-temporale în medii distribuite. Direcțiile viitoare pot include extinderea sistemului prin integrarea rețelelor neuronale artificiale, conectivitate 5G și standarde avansate de interoperabilitate pentru infrastructuri inteligente de mari dimensiuni.

Mulțumiri. Cercetarea face parte din tematica tezelor de doctorat. Au fost realizate cu suportul oferit de Laboratorul "Inteligență Artificială și Sisteme Multi-Agent" din cadrul Departamentului Informatică și Ingineria Sistemelor, Universitatea Tehnică a Moldovei.

Referințe

1. SATYANARAYANAN, M. The Emergence of Edge Computing, In *Computer*, vol. 50, no. 1, pp. 30-39, Jan. 2017, doi: 10.1109/MC.2017.9.
2. W. YU et al., A Survey on the Edge Computing for the Internet of Things, In *IEEE Access*, vol. 6, pp. 6900-6919, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2017.2778504.
3. DINH, H. T., LEE, C., NIYATO, D., & WANG, P. A survey of mobile cloud computing: architecture, applications, and approaches. *Wireless communications and mobile computing*, 2013, 13(18), 1587-1611.
4. RAJAGOPAL D, Subramanian PKT. 2025. AI augmented edge and fog computing for Internet of Health Things (IoHT) *PeerJ Computer Science*, 2025, 11:e2431 <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.2431>.
5. AAZAM M., ZEADALLY S., HARRAS K.A. Offloading in fog computing for IoT: review, enabling technologies, and research opportunities. *Future Generation Computer Systems*, 2018, 87(4):278-289.
6. MACH, P., & BECVAR, Z. Mobile edge computing: A survey on architecture and computation offloading. *IEEE communications surveys & tutorials*, 2017, 19(3), 1628-1656.
7. LUAN, T. H., GAO, L., LI, Z., XIANG, Y., WEI, G., & SUN, L. *Fog computing: Focusing on mobile users at the edge*. 2015, arXiv preprint arXiv:1502.01815.
8. SHI, W., CAO, J., ZHANG, Q., LI, Y., & XU, L. Edge computing: Vision and challenges. *IEEE internet of things journal*, 2016, 3(5), 637-646.
9. MARGOLIS, M., JEPSON, B., & WELDIN, N. R. *Arduino cookbook: recipes to begin, expand, and enhance your projects*. O'Reilly Media, 2020.
10. SUDACEVSCHI, V., ABABII, V., MUNTEANU, S. Distributed Decision-Making Multi-Agent System in Multi-Dimensional Environment. *ARA Journal of Sciences*, 2020, 3/2020, pp. 74-80, ISSN 0896-1018.
11. MUNTEANU, S., SUDACEVSCHI, V., ABABII, V. Computer Systems Synthesis Inspired from Biologic Cells Structures. *Journal of Engineering Science*, June, 2022, Vol. XXIX (2), pp. 91-107, ISSN: 2587-3474 / E-ISSN: 2587-3482, DOI: 10.52326/jes.utm.2022.29(2).09.
12. TURCAN, A., ABABII, V., SUDACEVSHI, V., MELNIC, R., ALEXEI, V., MUNTEANU, S., ABABII, C. Smart City Services based on Spatial – Temporal Logic. *Journal of Engineering Science*, 2022, 29 (3), pp. 78-85, ISSN: 2587-3474 / E-ISSN: 2587-3482, [https://doi.org/10.52326/jes.utm.2022.29\(3\).07](https://doi.org/10.52326/jes.utm.2022.29(3).07).
13. ABABII, V., SUDACEVSCHI, V., BRANISTE, R., NISTIRIUC, A., MUNTEANU, S., BOROZAN, O. Multi-Robot System Based on Swarm Intelligence for Optimal Solution Search. In *The International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications, HORA-2020*, 2020, Ankara, Turkey. pp. 269-273, Publisher IEEE, ISBN: 978-1-7281-9352-6, DOI: 10.1109/HORA49412.2020.9152926.
14. ABABII, V., SUDACEVSCHI, V., TURCAN, A., MELNIC, R., CARBUNE, V., COJUHARI, I. Multi-Objective Decision Making System Based on Spatial-Temporal

- Logics. In *The Proceedings of the 24th International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS-2023)*, 24-26 May, 2023, Bucharest, Romania, pp. 6-10, DOI: 10.1109/CSCS59211.2023.00010.
15. MELNIC, R., ABABIL, V., SUDACEVSCHI, V., SACHENKO, O., BOROZAN, O., LENDIUK, T. Multi-Objective Based Multi-Agent Decision-Making System. In *The Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS-2023)*, Volume 2, September 7-9, 2023, Dortmund, Germany, pp. 834-839, ISSN: 2770-4254, ISBN: 979-8-3503-5804-9, DOI: 10.1109/IDAACS58523.2023.10348725.
16. ZANELLA, A., BUI, N., CASTELLANI, A., VANGELISTA, L., & ZORZI, M. Internet of things for smart cities. *IEEE Internet of Things journal*, 2014, 1(1), 22-32.
17. ABU-RAYASH, A., & DINCER, I. Development of an integrated model for environmentally and economically sustainable and smart cities. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 2025, 73, 104096.

SISTEM DECIZIONAL INTERACTIV BAZAT PE INFRASTRUCTURA INTELIGENTĂ

Augustina ROTARI^{1*}, Nicu DRUMEA², Andrei CLIMA²

¹DIIS, SD, UTM, Chișinău, Republica Moldova

²DIIS, RM-221, FCIM, UTM, Chișinău, Republica Moldova

*Autorul corespondent: Augustina Rotari, e-mail: augustina.rotari@doctorat.utm.md

Îndrumătorul/coordonatorul științific **Victir ABABII**, dr., DIIS, UTM

Rezumat. În contextul urbanizării accelerate și al digitalizării globale, infrastructura inteligentă devine un pilon foarte important în arhitectura societății moderne. Aceasta presupune integrarea tehnologiilor digitale avansate – precum Internet of Things (IoT), inteligența artificială, cloud computing și rețelele de senzori inteligente – în cadrul structurilor fizice existente sau nou construite, pentru a le transforma în sisteme adaptive, autonome și interconectate. Lucrarea propune proiectarea unui sistem decizional interactiv bazat pe infrastructură inteligentă, orientat către aplicații ce necesită intervenție operativă și control în timp real. Sistemul este dezvoltat prin integrarea tehnologiilor de realitate virtuală, utilizând dispozitivul HTC VIVE Focus 3 și controlerele sale pentru a crea o interfață intuitivă între utilizator și mediul decizional simulat. Platforma va permite modelarea și monitorizarea proceselor critice în domenii precum managementul infrastructurii urbane, situații de urgență sau sisteme industriale complexe, oferind vizualizare imersivă, manipulare interactivă a datelor și simulare a scenariilor operaționale. Avantajul major al sistemului constă în capacitatea de reacție imediată, posibilitatea de antrenament și testare în medii virtuale sigure și adaptabilitatea arhitecturii la diferite tipuri de infrastructuri inteligente. Rezultatele testelor experimentale evidențiază eficiența interacțiunii utilizator–sistem și creșterea calității deciziilor luate în medii critice.

Cuvinte cheie: realitate virtuală, HTC VIVE Focus 3, controler, sistem suport decizie, intervenție operativă, control în timp real.

Introducere

Urbanizarea accelerată și digitalizarea profundă a societății moderne impun o regândire a modului în care infrastructura urbană este proiectată, gestionată și extinsă. În acest nou context, infrastructura inteligentă nu mai este doar o opțiune tehnologică, ci o necesitate funcțională pentru orașe sustenabile, eficiente și reziliente. Aceasta implică fuziunea dintre elementele fizice și cele digitale, prin integrarea unor tehnologii emergente precum Internet of Things (IoT), inteligența artificială (AI), cloud computing și rețelele de senzori, în vederea creării unor sisteme dinamice, autonome și interconectate [1-4].

Rolul central al infrastructurii inteligente este acela de a susține luarea deciziilor în timp real și de a îmbunătăți și integra performanțele serviciilor publice și cele industriale. Prin intermediul procesului continuu de colectare, analiză și interpretare a datelor, aceste sisteme devin capabile să optimizeze funcționarea transporturilor, a rețelelor energetice, a sistemelor de apă, a clădirilor inteligente sau a rețelelor de mediu [5-8].

În această dinamică tehnologică, realitatea virtuală și sistemele decizionale interactive devin instrumente strategice pentru simulare, control și intervenție rapidă în scenarii critice. Lucrarea de față se înscrie în această direcție, propunând o arhitectură interactivă pentru monitorizarea și controlul infrastructurii inteligente, utilizând dispozitivul HTC VIVE Focus 3 ca interfață imersivă între utilizator și sistemul decizional virtualizat. Această soluție oferă

posibilitatea de vizualizare 3D, manipulare intuitivă a datelor și intervenție contextualizată, în timp real, în funcție de parametri transmiși de la rețelele de senzori conectate. Sistemul decizional interactiv utilizează tehnologii de realitate virtuală (VR), pentru a crea o interfață intuitivă între utilizator și infrastructura urbană inteligentă. Sistemul este proiectat pentru aplicații care necesită intervenție operativă și control în timp real, cu potențial de utilizare în gestionarea infrastructurii urbane, scenarii de urgență și sisteme industriale [9,10].

Legătura de perspectivă dintre sistemele de realitate virtuală (VR) și sistemele Multi-Agent (MAS) este una strategică și complementară, în special în contextul aplicațiilor inteligente, colaborative și distribuite. Sistemele VR oferă un mediu controlat, imersiv și interactiv în care agenții inteligenți pot fi antrenați, testați sau validați fără riscuri reale. În aplicații precum logistica, Industria 4.0 sau intervențiile de urgență, agenții software și fizici pot învăța comportamente colaborative într-un mediu virtual generat de VR. VR permite interacțiunea naturală între utilizatori umani și agenți autonomi (roboți, agenți software și hardware), oferind feedback vizual și auditiv în timp real [11,12,17-19].

Sistemele MAS care operează în medii distribuite (smart city) pot fi monitorizate și controlate prin interfețe VR, unde utilizatorul vizualizează pozițiile, deciziile și interacțiunile agenților în spațiu-timp. Totodată, VR oferă un cadru de testare în care se poate studia comportamentul emergent al sistemelor multi-agent, în special în scenarii de cooperare sau formare de coaliții [13,14].

Combinarea VR și MAS duce la sisteme decizionale imersive: Orașe inteligente (Smart Cities) unde VR și MAS vor fi folosite pentru simularea și optimizarea traficului, rețelelor energetice, intervențiilor de urgență și scenariilor de criză; Educație și training unde agenți virtuali inteligenți în medii VR vor acționa ca tutori sau parteneri de simulare în medii de instruire; Robotică colaborativă în sistemele industriale, unde VR poate fi folosit pentru supervizarea colaborării dintre roboți și oameni, cu MAS gestionând deciziile locale ale fiecărui robot [15,16].

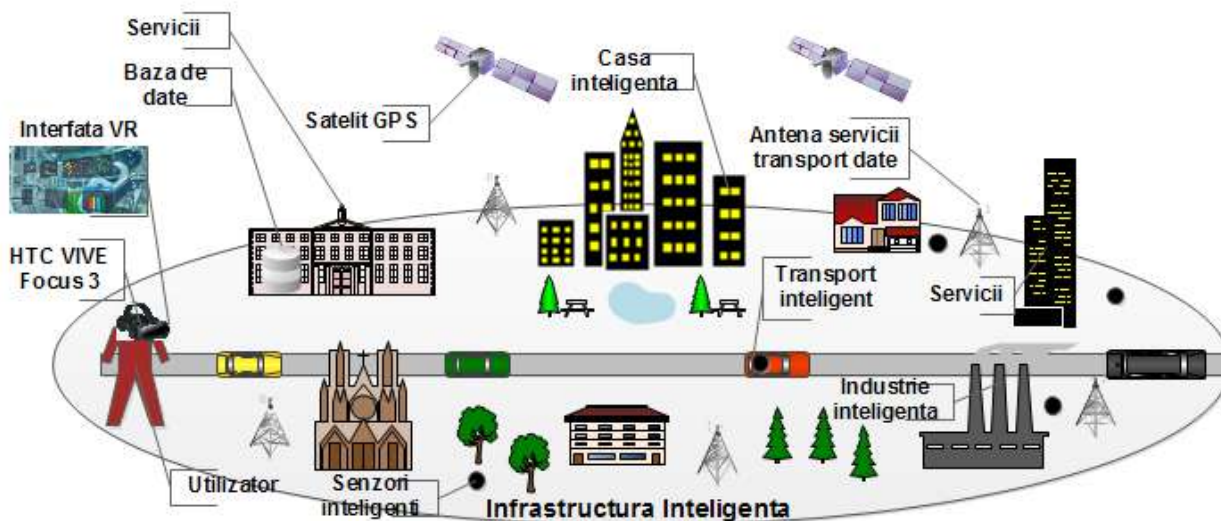


Figura 1. Arhitectura sistemului decizional interactiv

Arhitectura sistemului decizional interactiv

Arhitectura sistemului decizional interactiv realizat în baza tehnologiei de realitate virtuală este prezentată în Figura 1. Sistemul este format din următoarele componente esențiale: Interfața VR – realizată în baza HTC VIVE Focus 3 pentru vizualizare și manipulare imersivă; Platforma de procesare – reprezintă resurse cloud și edge computing pentru achiziția și analiza datelor în timp real; Senzori inteligenți – asigură surse de date continue despre mediul de

activitate (Infrastructura Inteligentă); Motor de decizie AI – bazat pe modele de cunoștințe și algoritmi de învățare automată pentru predicție și recomandări operaționale.

Modul de funcționare a sistemului decizional interactiv bazat pe infrastructura inteligentă

Utilizatorul de servicii oferite de Infrastructura Inteligentă fiind dotat cu un dispozitiv HTC VIVE Focus 3 prin intermediul Interfeței VR are acces la informațiile oferite de sistemul de acces la date stocate în Baza de date. Rețeaua de Antene asigură transportul datelor și stocarea acestora în Baza de date. Sistemul GPS permite localizarea dispozitivelor și a unităților de transport în timp real. Casa inteligentă, Transportul inteligent, Industria inteligentă și Sensorii inteligentă livrează informațiile specifice serviciilor solicitate de Utilizator.

Concluzii

Lucrarea evidențiază importanța infrastructurii inteligente în contextul provocărilor generate de urbanizarea accelerată și digitalizarea globală. Integrarea tehnologiilor avansate precum IoT, inteligența artificială, realitatea virtuală și rețelele de senzori în structurile fizice existente permite dezvoltarea unor sisteme adaptive, autonome și interconectate, capabile să răspundă eficient și în timp real nevoilor critice ale societății moderne.

Prin proiectarea și implementarea unui sistem decizional interactiv bazat pe realitate virtuală, utilizând dispozitivul VIVE Focus 3 și controlerele aferente, lucrarea demonstrează fezabilitatea unei interfețe intuitive între utilizator și mediul decizional. Platforma oferă funcționalități avansate de modelare, monitorizare și simulare a proceselor operaționale în contexte precum managementul urban, intervențiile de urgență sau sistemele industriale complexe.

Capacitatea sistemului de reacție rapidă, posibilitatea de testare sigură în medii virtuale și adaptabilitatea arhitecturii la diverse tipuri de infrastructuri inteligente constituie avantaje majore în susținerea procesului decizional. Rezultatele experimentale confirmă eficiența și utilitatea acestui tip de soluție în îmbunătățirea calității deciziilor și a siguranței operaționale în medii dinamice și critice.

Lucrarea aduce o contribuție relevantă la dezvoltarea sistemelor suport decizional în infrastructura inteligentă și deschide perspective promițătoare pentru cercetări viitoare privind integrarea tehnologiilor emergente în soluții de control operațional în timp real.

Mulțumiri. Cercetarea de față face parte din tematica tezelor de doctorat. A fost realizată cu suportul tehnic și tehnologic oferit de Laboratorul "Inteligență Artificială și Sisteme Multi-Agent" din cadrul Departamentului Informatică și Ingineria Sistemelor, Universitatea Tehnică a Moldovei.

Referințe

1. TRIGKA, M., & DRITSAS, E. Edge and Cloud Computing in Smart Cities. *Future Internet*, 2025, 17(3), 118, DOI: <https://doi.org/10.3390/fi17030118>.
2. FICILI, I.; GIACOBBE, M.; TRICOMI, G.; & PULIAFITO, A. From sensors to data intelligence: Leveraging IoT, cloud, and edge computing with AI. *Sensors*, 2025, 25(6), 1763, DOI: <https://doi.org/10.3390/s25061763>.
3. NIKRAVAN, M.; & KASHANI, M. H. Smart sensor networks based on edge technologies. In *Blockchain and Digital Twin for Smart Healthcare*, 2025, pp. 45-67, Elsevier, DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-36370-2.00024-4>.
4. JOHN, S. P.; ALAPPAT, V.; VARGHESE, N.; & Simpson, S. V. Edge-Cloud Computing for IoT Data Analytics Using Optimized Progressive Graph Convolutional Networks. *IETE Journal of Research*, 2025, pp. 1-8, DOI: <https://doi.org/10.1080/03772063.2025.2458611>.

5. LIU, B.; LI, Q.; ZHENG, Z.; HUANG, Y.; DENG, S.; HUANG, Q.; & LIU, W. A Review of multi-source data fusion and analysis algorithms in smart city construction: Facilitating real estate management and urban optimization. *Algorithms*, 2025, 18(1), 30, DOI: <https://doi.org/10.3390/a18010030>.
6. GOUMIRI, S.; YAHIAOUI, S.; & DJAHIEL, S. Smart Mobility in Smart Cities: Emerging challenges, recent advances and future directions. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 2023, 29(1), 81–117, DOI: <https://doi.org/10.1080/15472450.2023.2245750>.
7. ABU-RAYASH, A.; & DINCER, I. Development of an integrated model for environmentally and economically sustainable and smart cities. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 2025, 73, 104096, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2024.104096>.
8. CEPERO, T.; MONTANÉ-JIMÉNEZ, L. G.; & MAESTRE-GÓNGORA, G. P. A framework for designing user-centered data visualizations in smart city technologies. *Technological Forecasting and Social Change*, 2025, 210, 123855: DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123855>.
9. LIN, Y.; CHEN, X.; ZHANG, C.; & CHEN, J. A virtual object manipulation method based on eye-gaze selection and head-eye coordination movement. *International Journal of Human-Computer Studies*, 2025, 103458, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2025.103458>.
10. A. ERKHOV et al., ViewVR: Visual Feedback Modes to Achieve Quality of VR-Based Telemanipulation, In *The 20th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, Melbourne, Australia, 2025, pp. 1294-1298, doi: 10.1109/HRI61500.2025.10974176.
11. SUDACEVSCHI, V.; ABABII, V.; MUNTEANU, S. Distributed Decision-Making Multi-Agent System in Multi-Dimensional Environment. *ARA Journal of Sciences*, 3/2020, pp. 74-80, ISSN: 0896-1018.
12. MUNTEANU, S.; SUDACEVSCHI, V.; ABABII, V.; BOROZAN, O.; ABABII, C.; LASCO, V. Multi-Agent Decision Making System based on Membrane Computing. In *The 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications*. 2021, Cracow, Poland, Vol. 2. pp. 851-854. ISBN: 978-1-6654-4210-7.
13. TURCAN, A.; ABABII, V.; SUDACEVSHI, V.; MELNIC, R.; ALEXEI, V.; MUNTEANU, S.; ABABII, C. Smart City Services based on Spatial – Temporal Logic. *Journal of Engineering Science*, 2022, 29 (3), pp. 78-85, ISSN: 2587-3474 / E-ISSN: 2587-3482, [https://doi.org/10.52326/jes.utm.2022.29\(3\).07](https://doi.org/10.52326/jes.utm.2022.29(3).07).
14. ABABII, V.; SUDACEVSCHI, V.; TURCAN, A.; MELNIC, R.; CARBUNE, V.; COJUHARI, I. Multi-Objective Decision Making System Based on Spatial-Temporal Logics. In *The Proceedings of the 24th International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS-2023)*, 2023, Bucharest, Romania, pp. 6-10, DOI: 10.1109/CSCS59211.2023.00010.
15. ABABII, V.; SUDACEVSCHI, V.; MUNTEANU, S.; TURCAN, A.; BOROZAN, O. Decision-Making Support System for Quality Smart City Services. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*. Vol. 39, No 1, June 2023, pp. 450-456. ISSN 2509-0119. DOI: 10.52155/ijpsat.v39.1.5436.
16. ABABII, V.; SUDACEVSCHI, V.; MUNTEANU, S.; CARBUNE, V.; MELNIC, R.; LASCO, V. Synthesis of Agent-Based Decision-Making Systems with Multiple Coalitions. In *The Proceedings of the 14th IEEE International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN 2023)* 2023, Craiova, România, pp. 1-5, DOI: 10.1109/SIELMEN59038.2023.10290825.

17. ABABII, V.; CĂRBUNE, V.; SUDACEVSCHI, V.; MARUSIC, G.; and BRANIȘTE, R. Sistem Multi-Agent pentru monitorizarea și predicția proceselor de mediu. *Revista de Știință, Inovare, Cultură și Artă „Akademos”*, 2025, 76(1), pp. 22-30.
18. MARUSIC, G.; SAVA, N.; BRANIȘTE, R.; CĂRBUNE, V.; and ABABII, V. computational solutions for determining the spatial-temporal evolution of pollutants on the Prut river sector in Giurgiulesti locality. *Scientific Study & Research. Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*, 2025, 26(1), pp. 33-45.
19. MARUSIC, G.; BRANIȘTE, R.; SAVA, N.; ABABII, V.; CĂRBUNE, V.; and TIHOLAZ, T. Statistical evaluation of data on the pollution of the Prut river with ammonium nitrogen. *Journal of Engineering Sciences*, 2024, (4), pp.166-174.

SISTEM DE CALCUL ADAPTIV ORIENTAT SPRE SERVICII BAZAT PE INTELIGENȚA COLECTIVĂ

Vadim STRUNA^{1*}, Maxim SECRIERU², Nicolae MARINOV², Alina DONESCO²

¹DIIS, SD, UTM, Chișinău, Republica Moldova

²DIIS, RM-231, FCIM, UTM, Chișinău, Republica Moldova

*Autorul corespondent: Vadim Struna, e-mail: vadim.struna@iis.utm.md

Îndrumătorul/coordonatorul științific Victor ABABII, dr., DIIS, UTM

Rezumat. În era transformărilor digitale, inteligența colectivă transformă sistemele de calcul simple în entități inteligente, capabile să rezolve probleme complexe și să interacționeze adaptiv cu utilizatorii și mediul înconjurător. În acest context, conceptul de sistem de calcul adaptiv orientat spre servicii capătă o importanță deosebită, fiind conceput pentru a răspunde în mod dinamic cerințelor operaționale, sociale sau economice, prin furnizarea de soluții inteligente, personalizate și contextuale. Lucrarea propune proiectarea unui sistem de calcul adaptiv orientat spre servicii, fundamentat pe concepte din inteligența colectivă și pe arhitecturi de procesare inspirate din funcționarea cognitivă umană. Sistemul este conceput pentru a simula interacțiunea dintre nivelul conștient și subconștient al gândirii, prin implementarea unui model al cunoștințelor (explicit) și a unui model al subcunoștințelor (implicit), gestionate și actualizate dinamic în funcție de contextul operațional. La baza arhitecturii sistemului de calcul se află o bază de cunoștințe adaptivă, care se auto-îmbogățește prin învățare continuă, alimentată de experiențele anterioare și de datele provenite din interacțiuni complexe cu mediul. Pentru procesarea și decodificarea acestor informații, sistemul utilizează rețele neuronale recurente (RNN), care permit memorarea și analiza contextului secvențial, fiind esențiale în înțelegerea modelelor comportamentale și anticiparea evenimentelor.

Cuvinte cheie: baza de cunoștințe, conștient și subconștient, inteligența artificială, rețele neuronale recurente, modelul cunoștințelor, modelul subcunoștințelor, teoria Morse.

Introducere

În era digitală contemporană, caracterizată printr-o explozie a datelor, automatizarea proceselor și interacțiuni complexe om-mașină, capacitatea sistemelor informatice de a învăța, adapta și colabora devine esențială pentru performanța și reziliența acestora. În acest context, inteligența colectivă — emergența unei forme superioare de decizie și raționament rezultată din cooperarea entităților autonome — redefineste arhitectura și funcționalitatea sistemelor de calcul moderne. Trecerea de la sisteme rigide la sisteme de calcul adaptive orientate spre servicii reflectă o evoluție profundă în modul în care tehnologia răspunde cerințelor operaționale, sociale și economice în schimbare continuă [1-4].

Fundamentul teoretic al acestor sisteme se bazează pe o analogie cu procesele cognitive umane, modelând interacțiunea dintre nivelul conștient și cel subconștient al gândirii. În această paradigmă, modelul cunoștințelor reprezintă componenta explicită, logică și declarativă, responsabilă cu raționamentul deliberativ, în timp ce modelul subcunoștințelor guvernează reacțiile automate, anticipative și contextuale, fiind implementat prin mecanisme implicite. Aceste două componente colaborează în mod dinamic pentru a genera comportamente inteligente, personalizate și eficiente [1-13].

Pentru a sprijini această funcționalitate adaptivă, sistemul propus este echipat cu o bază de cunoștințe evolutivă, capabilă de învățare continuă și adaptare contextuală. Acest nucleu cognitiv este alimentat permanent de experiențele anterioare și de interacțiunile cu mediul

operațional. Procesarea informației și anticiparea comportamentului sunt facilitate de utilizarea rețelelor neuronale recurente (RNN), modele algoritmice performante care permit memorarea dependențelor secvențiale și recunoașterea pattern-urilor complexe în fluxuri dinamice de date [7-13].

Acumularea cunoștințelor de către ființele umane este un proces foarte complex, care implică o varietate de sisteme senzoriale ce percep mediul înconjurător, precum sistemul nervos periferic, auzul, mirosul și vederea. Numeroase cercetări științifice confirmă faptul că aproximativ 80-90% din informațiile procesate de creierul uman în formarea cunoștințelor sunt obținute prin intermediul sistemului vizual [14-16]. Acest lucru subliniază importanța pe care sistemul vizual o are în procesarea informațiilor și formarea cunoștințelor noi despre mediul înconjurător.

Lucrarea de față își propune proiectarea unui astfel de sistem de calcul adaptiv, bazat pe conceptele de inteligență artificială, inteligență colectivă și arhitecturi cognitive hibride. Prin simularea interacțiunii dintre componentele explicite și implicite ale procesului decizional, sistemul urmărește să răspundă inteligent și flexibil solicitărilor reale ale utilizatorilor, asigurând astfel o funcționare robustă și sensibilă la context.

Formularea problemei de cercetare

Fie este definit Sistemul de Calcul Adaptiv (SCA) bazat pe Inteligența Artificială Colectivă (IAC) cu procesare de imagini:

$$SCA = \{S(t), K(t), HK(t), M(t), DI(t), DO(t), t \in \overline{0, T}\}, \quad (1)$$

unde: $S(t)$ - este starea Sistemului de Calcul Adaptiv în momentul de timp t ; $K(t)$ - sunt cunoștințele reale disponibile pentru SCA în momentul de timp t ; $HK(t)$ - sunt cunoștințele ascunse ale SCA în momentul de timp t ; $M(t)$ - sunt metodele aplicate de SCA, pentru procesarea datelor, în momentul de timp t ; $DI(t)$ - sunt mulțimea de date de intrare, care determină starea mediului de activitate a SCA, în momentul de timp t ; $DO(t)$ - sunt mulțimea de date de ieșire, cu care SCA acționează asupra mediului de activitate, în momentul de timp t ; $t \in \overline{0, T}$ - timpul de evoluție a SCA.

Să se elaboreze metoda de achiziție, identificare, clasificare și prezentare a cunoștințelor bazată pe procesarea imaginilor pentru aplicarea în SCA, care va asigura:

$$\begin{cases} (M(t), RK(t)) | (DI(t), RK(t)) \rightarrow RK(t + \Delta t), \\ (RK(t), HK(t)) | M(t) \rightarrow M(t + \Delta t), \\ (M(t + \Delta t)) | (S(t), DI(t)) \rightarrow DO(t + \Delta t). \end{cases} \quad (2)$$

unde: Δt - durata unei iterații de procesare a datelor, $t + \Delta t$ - momentul de timp în care s-a realizat actualizarea cunoștințelor.

Formula (2) determină dinamica procesului de actualizare și acumulare a cunoștințelor $K(t + \Delta t)$ și metodele $M(t + \Delta t)$ aplicate pentru luarea deciziilor $DO(t + \Delta t)$ de acțiune asupra mediului de activitate în raport cu starea acestuia $DI(t)$.

Aplicarea metodei de utilizare a noțiunii de Cunoștințe Reale $RK(t)$ și Cunoștințe Ascunse $HK(t)$ este inspirată din activitatea creierului uman care prelucrează informația în mod Conștient sau în mod Subconștient. Conștientul și Subconștientul reprezintă două aspecte esențiale ale funcționării minții umane [17, 18].

Cunoștințe Reale $RK(t)$ sunt informații verificabile și utilizabile conștient în luarea deciziilor. Cunoștințele Reale $RK(t)$ sunt accesibile imediat și sunt esențiale pentru asigurarea acurateței și fiabilității în procesul decizional.

Cunoștințe Ascunse $HK(t)$ sunt informații care sunt utilizate la nivel subconștient instantaneu. În sistemele decizionale, cunoștințele ascunse sunt extrase adesea prin procese de învățare automată sau de analiză statistică avansată.

Activitatea creierului uman în mod conștient este responsabilă de procesul de gândire, percepție și permite de a lua decizii logice în timp real. Conștientul uman include: raționamentul logic și analitic; luarea deciziilor deliberate; percepția conștientă a mediului înconjurător prin sistemul senzorial; gândurile și sentimentele la moment [17]. În sisteme decizionale, modul conștient poate face referire la procesele explicite și transparente prin care se iau deciziile.

Subconștientul uman este acea parte a minții care funcționează în fundal (instantaneu) și influențează comportamentele, gândurile și emoțiile fără a fi în mod direct accesibil conștiinței. Subconștientul stochează informații, amintiri și experiențe acumulate de-a lungul vieții care influențează deciziile și reacțiile în mod subtil. Caracteristicile principale ale subconștientului includ: stocarea amintirilor și experiențelor trecute; controlul funcțiilor automate ale corpului, precum respirația și ritmul cardiac; influențarea emoțiilor și comportamentelor pe baza experiențelor anterioare; capacitatea de a procesa informații simultan și de a efectua sarcini multiple fără conștientizare [18]. În sistemele decizionale, acest mod poate face referire la procesele de calcul care se desfășoară fără intervenția umană, adesea în fundal sau în mod automatizat.

Interacțiunea dintre Conștient și Subconștient este premanentă. Acest fenomen este exprimat prin faptul că multe dintre deciziile umane conștiente sunt influențate de experiențele și amintirile stocate în subconștient. Accesarea și modificarea directă a conținutului subconștient poate fi utilizat pentru a îmbunătăți starea mentală și comportamentală a ființelor umane [17, 18].

Modelul de extragere a cunoștințelor

După cum s-a menționat, ființele umane obțin 80-90% din cunoștințe prin intermediul sistemului vizual. În această lucrare, ne vom concentra pe dezvoltarea unei metode de achiziție a cunoștințelor pentru SCA de luare a deciziilor, bazată pe procesarea imaginilor. Procesul de extragere a cunoștințelor se bazează pe teoria Morse stratificată [19-21], care permite realizarea unui algoritm de identificare a cunoștințelor reale $RK(t)$ pentru funcționarea sistemului de luare a deciziilor în mod „Conștient” (regim în timp real, declanșat de starea mediului de activitate $X(t)$), precum și identificarea cunoștințelor ascunse $HK(t)$ pentru funcționarea sistemului în mod „Subconștient” (regim background declanșat de starea internă $S(t)$ a SCA de luare a deciziilor).

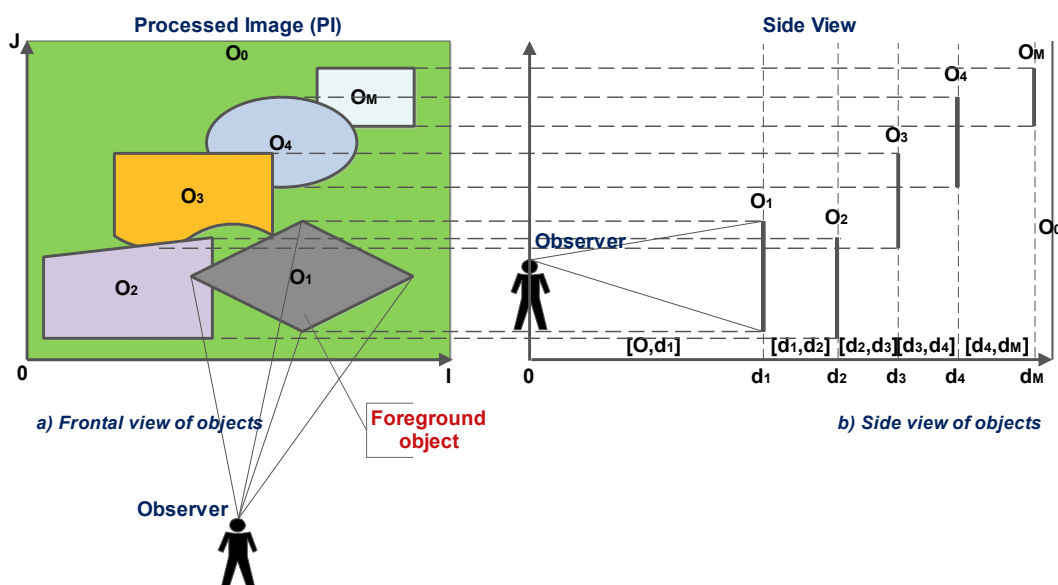


Figura 1. Exemplu de capturare a imaginii pentru formarea cunoștințelor

În Figura 1 este prezentată o imagine (*PI*) capturată de camera video, care permite explicarea modului de funcționare al algoritmului de identificare și clasificare a cunoștințelor. Aceasta include următoarele elemente:

Observer – punctul de observare sau camera video pentru achiziția imaginii;

Processed Image (PI) – spațiul imaginii achiziționate de camera video, cu mulțimea de obiecte O_1, O_2, O_3, O_4, O_M și imaginea de fundal O_0 (Observatorul este focusat pe obiectul O_1);

Side View – vedere laterală a sistemului de achiziție și distanța în adâncime a obiectelor din imaginea *PI*;

O – originea sistemului de coordonate;

I – coordonata pixelului din imagine pe orizontală;

J – coordonata pixelului din imagine pe verticală;

d_1, d_2, d_3, d_4, d_M – puncte de distanță în adâncime, până la obiectele din imagine;

$[d_1, d_2]$ – distanța dintre obiectele O_1 și O_2 .

În conformitate cu teoria Morse, orice imagine video poate fi stratificată, rezultând obiecte discrete amplasate în adâncime unul față de altul. Condiția de identificare a obiectelor din imagine este definită de expresia (3):

$$x(t)[j, i] \in O_m \mid \left(\frac{\partial x(t)}{\partial j} = 0, \frac{\partial x(t)}{\partial i} = 0 \right), \forall m = \overline{1, M}, j = \overline{1, J}, i = \overline{1, I} \quad (3)$$

unde: pixelul $x(t)$ cu coordonatele $j, i \forall j = \overline{1, J}, i = \overline{1, I}$ aparține obiectului $O_m, m = \overline{1, M}$, dacă sunt îndeplinite condițiile: $\frac{\partial x(t)}{\partial j} = 0$ - ceea ce înseamnă că variația coordonatei pixelului pe verticală nu duce la modificarea parametrului $x(t)$, și $\frac{\partial x(t)}{\partial i} = 0$ - ceea ce înseamnă că variația coordonatei pixelului pe orizontală nu duce la modificarea parametrului $x(t)$.

În urma aplicării modelului de calcul (3) sunt identificate mulțimea de obiecte $O_m, m = \overline{1, M}$, prezente în imaginea *PI*, care formează mulțimea de cunoștințe noi achiziționate de sistem pentru actualizarea acestora. Clasificarea obiectelor pentru completarea bazei de cunoștințe are loc în conformitate cu algoritmul:

Dacă obiectul O_m este perceput de sistem ca obiect care se află în prim-plan (obiectul O_1 din Figura 1), atunci, acesta va genera cunoștințe reale și $O_m(t) \subset RK(t), \forall m = \overline{1, M}$;

Dacă obiectul O_m este perceput de sistem ca obiect care nu se află în prim-plan (obiectele O_2, O_3, O_4, O_M din Figura 1), atunci, acesta va genera cunoștințe ascunse și $O_m(t) \subset HK(t), \forall m = \overline{1, M}$.

Un rol important în formarea de cunoștințe este determinat de ordinea de poziționare a obiectelor în adâncime (distanța d_1, d_2, d_3, d_4, d_M din Figura 1). Pentru aceasta se propune următorul algoritm:

Dacă $O_m \cap O_l \neq \emptyset$ și $(O_m \cap O_l) \subset O_l$ (obiectul O_m acoperă o parte din obiectul O_l), atunci $d_m < d_l$ (obiectul O_m se află mai aproape de *Observer* în raport cu obiectul O_l), $\forall m = \overline{1, M}, l = \overline{1, M}$ și $m \neq l$;

Dacă $O_m \cap O_l \neq \emptyset$ și $(O_m \cap O_l) \subset O_m$ (obiectul O_l acoperă o parte din obiectul O_m), atunci $d_m > d_l$ (obiectul O_l se află mai aproape de *Observer* în raport cu obiectul O_m), $\forall m = \overline{1, M}, l = \overline{1, M}$ și $m \neq l$.

Concluzii

În dezvoltarea sistemelor decizionale moderne, integrarea procesării imaginilor cu tehnici avansate de inteligență artificială devine esențială pentru construirea de entități computaționale capabile să înțeleagă, să învețe și să se adapteze la medii complexe și dinamice. În acest context, abordarea propusă în lucrare se aliniază paradigmei sistemelor de calcul adaptive orientate spre servicii, inspirate din inteligența colectivă și din modelul comportamental al ființei umane.

Aceste sisteme sunt concepute pentru a funcționa pe două niveluri cognitive: conștient și subconștient, prin utilizarea unui model al cunoștințelor explicit și a unui model al subcunoștințelor implicit. Lucrarea analizează metodele și modelele de prezentare a cunoștințelor în sisteme cu inteligență artificială, concentrându-se pe procesul de achiziție, interpretare, clasificare și actualizare a cunoștințelor generate din imagini video. În urma unei analize empirice, a fost selectată metoda de prezentare orientată pe obiect, bine integrată în limbaje de programare precum Python și eficientă pentru dezvoltarea de componente software inteligente.

Modelul decizional propus este fundamentat pe un cadru matematic care include: starea internă a sistemului, baza de cunoștințe (cuprinzând cunoștințe reale și cunoștințe ascunse), metodele de procesare a datelor, datele de intrare (care reflectă starea mediului de activitate) și datele de ieșire (care exprimă acțiunile sistemului asupra mediului). În acest cadru, cunoștințele reale sunt utilizate în procesul decizional conștient, în timp ce cunoștințele ascunse susțin reacțiile automate și adaptive, specifice nivelului subconștient. Pentru identificarea și clasificarea obiectelor în imagini, sistemul utilizează Teoria Morse, care oferă un suport matematic robust pentru extragerea caracteristicilor relevante. Aceste informații sunt transformate în cunoștințe, care sunt apoi integrate dinamic în baza cognitivă a sistemului. În plus, procesarea secvențială a datelor este realizată cu ajutorul rețelelor neuronale recurente (RNN), ce permit memorarea contextului și anticiparea comportamentului vizual al mediului, esențiale pentru funcționarea adaptivă și contextuală a sistemului.

Implementarea conceptuală a fost susținută de dezvoltarea unui exemplu de cod în Python, în care sunt definite funcțiile principale pentru achiziția, analiza și actualizarea cunoștințelor vizuale. Acest prototip software demonstrează capacitatea sistemului de a integra în mod inteligent procesele cognitive conștiente și subconștiente în vederea luării deciziilor eficiente în medii incerte. Respectiv, combinarea modelului cunoștințelor, a inteligenței artificiale, a rețelelor neuronale recurente și a unei baze de cunoștințe adaptative permite construirea unui sistem decizional robust și flexibil, capabil să învețe din experiență și să răspundă inteligent în fața situațiilor complexe și imprevizibile. Cercetările viitoare vor urmări extinderea acestui model în direcția implementării hardware și a dezvoltării de aplicații software dedicate pentru procesarea imaginilor în timp real și luarea deciziilor autonome.

Mulțumiri. Cercetările realizate fac parte din tematica tezelor de doctorat. Au fost realizate cu suportul tehnic și tehnologic oferit de Laboratorul "Inteligență artificială și Sisteme Multi-Agent" din cadrul Departamentului Informatică și Ingineria Sistemelor, Universitatea Tehnică a Moldovei.

Referințe

1. SUDACEVSCHI V., ABABII V., MUNTEANU S. Distributed Decision-Making Multi-Agent System in Multi-Dimensional Environment. *ARA Journal of Sciences*, 2020, 3/2020, pp. 74-80, ISSN 0896-1018.
2. ABABII V., SUDACEVSCHI V., MUNTEANU S., TURCAN A., BOROZAN O. Decision-Making Support System for Quality Smart City Services. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*. 2023, Vol. 39, No 1, pp. 450-456. ISSN: 2509-0119., DOI: 10.52155/ijpsat.v39.1.5436.
3. ZIZIUCHIN A., ABABII V., CARBUNE V. Decision Support System for Monitoring of Patients with Diabets, In *Proceedings of Workshop on Intelligent Information Systems: WIIS-2023*, October 19-21, 2023, Chișinău, pp. 233-241, ISBN: 978-9975-68-492-7.
4. MELNIC R., ABABII V., SUDACEVSCHI V., SACHENKO O., BOROZAN O., LENDIUK T. Multi-Objective Based Multi-Agent Decision-Making System. *Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS-2023)*, Vol.

-
- 2, September 7-9, 2023, Dortmund, Germany, pp. 834-839, ISSN: 2770-4254, ISBN: 979-8-3503-5804-9, DOI: 10.1109/IDAACS58523.2023.10348725.
5. RUSSELL S., & NORVIG P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (3rd ed.). Pearson, 2016.
 6. BRATKO I. *Prolog Programming for Artificial Intelligence* (4th ed.). Pearson, 2019.
 7. POOLE D., & MACKWORTH A. *Artificial Intelligence: Foundations of Computational Agents* (2nd ed.). Cambridge University Press, 2017.
 8. HAYES-ROTH F., & HAYES-ROTH B. A Cognitive Model of Decision Making. In *Proceedings of the Second International Conference on Artificial Intelligence Planning Systems*, pp. 244-249. AAAI Press, 2018.
 9. PEARL J. *Causality: Models, Reasoning, and Inference* (2nd ed.). Cambridge University Press, 2018.
 10. STACHOWICZ A., & ŚLĘZAK D. Rough Sets: A Tutorial. In *Foundations of Computational Intelligence Volume 6: Data Mining with Decision Trees: Theory and Applications*, pp. 25-68, Springer, 2016.
 11. LUTZ M. *Learning Python* (5th Edition). O'Reilly Media, 2019.
 12. MCKINNEY W. *Python for Data Analysis: Data Wrangling with Pandas, NumPy, and IPython* (2nd Edition). O'Reilly Media, 2017.
 13. SUMMERFIELD M. *Programming in Python 3: A Complete Introduction to the Python Language* (2nd Edition). Addison-Wesley, 2013.
 14. KANDEL E. R., SCHWARTZ J. H., & JESSELL T. M. *Principles of Neural Science*, 5th Edition, McGraw-Hill Publisher, 2012, ISBN: 978-007-1390-118.
 15. GOLDSTEIN E. B. *Sensation and Perception*, Cengage Learning, 2017, ISBN: 978-0-495-60149-4.
 16. FRISBY J. P., & STONE J. V. *Seeing: The Computational Approach to Biological Vision*, 2nd Edition, MIT Press Publisher, 2010, ISBN: 978-026-2514-279.
 17. PARRINGTON JOHN. *Conscious and Unconscious, Mind Shift: How culture transformed the human brain*, pp. 171-184. (Oxford, 2021; online edn, Oxford Academic, 17 June 2021), <https://doi.org/10.1093/oso/9780198801634.003.0012>, (Accessed: 01.04.2025).
 18. MILNER A. D. *Conscious and unconscious visual processing in the human brain*, in Lawrence Weiskrantz, and Martin Davies (eds), *Frontiers of Consciousness: Chichele Lectures*, pp. 169-214. (Oxford, 2008; online edn, Oxford Academic, 22 Mar. 2012), <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199233151.003.0005>, (Accessed: 07.04.2025).
 19. GORESKY M., MACPHERSON R. *Stratified Morse theory*. Springer, 2012, 349p., ISBN: 978-3-642-71714-7, DOI: 10.1007/978-3-642-71714-7.
 20. GORESKY M. Morse Theory, Stratifications and Sheaves. In: *Cisneros Molina, J.L., Lê, D.T., Seade, J. (eds) Handbook of Geometry and Topology of Singularities I*. Springer, 2020, pp. 275-319, https://doi.org/10.1007/978-3-030-53061-7_5, (Accessed: 09.04.2025).
 21. KNUDSON K., WANG B. *Discrete Stratified Morse Theory*. *Discrete Comput Geom*, 2022, 67, 1023–1052, <https://doi.org/10.1007/s00454-022-00372-1>, (Accessed: 09.04.2025).
-

ALGORITMI ANALITICI DE SINTEZĂ A REGULATOARELOR TIPIZATE LA OBIECTE CU AVANS-ÎNTÂRZIERE

Nadejda PALAMARCIUC*

Departamentul Ingineria Software și Automatică, Facultatea Calculatoare, Informatică și Microelectronică,
Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

*Autorul corespondent: Nadejda Palamarciuc, e-mail: nadejda.popovici@ati.utm.md

Coordonatorul științific **Ion FIODOROV**, conf. univ., dr., Universitatea Tehnică a Moldovei

Rezumat. În lucrare s-a realizat extinderea metodei criteriului gradului maximal de stabilitate pentru sinteza reguletoarelor tipizate la modele de obiecte cu inerție de ordin arbitrar, avans-întârziere, astatism și timp mort pentru sisteme de conducere automată cu răspuns aperiodic. În acest sens, au fost elaborați algoritmi analitici pentru sinteza reguletoarelor P, PI, PD și PID, exprimați sub formă de relații algebrice simple, fără a impune restricții asupra complexității obiectului condus.

Cuvinte cheie: sisteme de conducere automată, modele de obiecte, inerție de ordin arbitrar, avans-întârziere, astatism, timp mort, criteriul gradului maximal de stabilitate.

Introducere

În prezent, controlul sistemelor complexe reprezintă un domeniu important atât în cercetarea teoretică, cât și în aplicarea practică a analizei sistemelor dinamice și a elaborării algoritmilor de conducere automată. În numeroase aplicații din cadrul teoriei sistemelor, este esențial să se ia în considerare particularități ale modelelor obiectelor reale, cum ar fi legăturile dintre intrări și ieșiri ale subproceselor, comportamentul de avans-întârziere, prezența astatismului și existența timpului mort. Abordarea problemelor de conducere pentru aceste categorii de obiecte rămâne un subiect actual și relevant în domeniul teoriei conducerii automate [1], [3].

Acest tip de obiecte poate fi descris prin următoarea funcție de transfer:

$$H_p(s) = \frac{\exp(-\tau s)(b_0 s^l + b_1 s^{l-1} + \dots + b_l)}{a_0 s^r + a_1 s^{r-1} + \dots + a_{r-1} s + a_r}, \quad (1)$$

unde $a_0, \dots, a_r$ sunt coeficienți constanți, care exprimă proprietățile interne ale sistemului, iar $b_0, \dots, b_l$ exprimă proprietățile semnalelor de intrare; τ - timpul mort.

Pentru proiectarea reguletoarelor standard de tip P, PD, PI și PID, pot fi aplicate diverse metode cunoscute [3], [4]. Metodele analitice (Coon, Shedel, metoda modulului sau metoda simetriei) se bazează pe aproximarea comportamentului procesului prin modele cu inerție de ordin redus. Metodele grafo-analitice (Metoda locului rădăcinilor, Metodele frecvențiale) pot asigura performanțe satisfăcătoare ale sistemului obținut, dar presupun un efort computațional ridicat și realizarea unor construcții grafice detaliate. Metodele bazate pe optimizare parametrică pot oferi rezultate calitative, însă implică un volum mare de calcule și, în anumite situații, algoritmul de optimizare se poate abate de la soluția optimă.

Prezența unui timp mort semnificativ și a caracteristicilor de avans-întârziere în structura obiectului reglat determină o creștere a complexității procesului de sinteză a regulatorului. În aceste condiții, numeroase metode, inclusiv cele experimentale – precum Ziegler-Nichols, Chien-Hrones-Reswick, Offerens ș.a. – devin ineficiente sau chiar inadecvate pentru aplicare [1], [2].

Unul din criteriile utilizate la sinteza reguletoarelor automate este criteriul gradului maximal de stabilitate. Sistemele proiectate în baza acestui criteriu se caracterizează printr-o rapiditate înaltă, suprareglare redusă și robustețe la variația parametrilor obiectului reglat [5], [6].

În [7], în baza criteriului gradului maximal de stabilitate, au fost elaborați algoritmi analitici de sinteză a reguletoarelor tipizate la modele de obiecte cu inerție și timp mort, iar în [8] - algoritmi analitici de sinteză a reguletoarelor pentru sisteme automate cu grad maximal de stabilitate și performanțe impuse.

În lucrarea dată se propun algoritmi analitici de sinteză a reguletoarelor tipizate, prezentați în formă de expresii algebrice, pentru obiecte de reglare cu inerție de ordin arbitrar, avans-întârziere, astatism și timp mort.

Algoritmi analitici de sinteză a reguletoarelor.

Fie că modelul matematic al obiectului condus se descrie cu funcția de transfer (1).

Regulatorul reprezintă forma generalizată a regulatorului de tip PID și variațiile lui, care se caracterizează cu următoarea funcție de transfer

$$H_c(s) = k_p + k_i/s + k_d s = (k_d s^2 + k_p s + k_i)/s, \quad (2)$$

unde k_d, k_p, k_i sunt parametrii dinamici de acord ai regulatorului. Notăm cu m – numărul parametrilor de acord în legea de reglare aleasă (P, PD, PI sau PID)

Ecuția caracteristică a sistemului închis, descris cu relațiile (1), (2) se prezintă cu expresia:

$$\begin{aligned} A(s) &= \sum_{i=0}^n a_i s^{n-i} + \exp(-\tau s) (k_d s^2 + k_p s + k_i) \sum_{j=0}^l b_j s^{l-j} = \\ &= a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + \\ &+ [a_{r-1} + \exp(-\tau s) (k_d b_l + k_p b_{l-1} + k_i b_{l-2})] s^2 + \\ &+ [a_r + \exp(-\tau s) (k_p b_l + k_i b_{l-1})] s + [\exp(-\tau s) k_i b_l] = \\ &= d_0 s^n + d_1 s^{n-1} + \dots + d_{n-m} s^m + \dots + d_{n-1} s + d_n = 0, \end{aligned} \quad (3)$$

unde n este ordinul sistemului închis; $d_i = f_i(a_i)$, pentru $i = 0, \dots, (n-m)$; $d_i = f_i(k_d, k_p, k_i, a_i, b_j)$ pentru $i = ((n-(m-1)), \dots, n)$.

În conformitate cu metoda propusă în [6], gradul maximal de stabilitate J al sistemului obține valoarea maximă egală cu

$$J = \frac{n-m}{\sqrt{c_{n-m} d_0}}, c_{n-m} = c_n^m = \frac{n(n-1)(n-2)\dots(n-m+1)}{m!}, \quad (4)$$

atunci când părțile reale ale tuturor rădăcinilor ecuației caracteristice sunt egale între ele $\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_n = J$ [5].

Pentru a asigura această condiție, considerând rădăcina reală multiplă $s_i = -J, i = \overline{1, n}$, ecuația caracteristică (3) se descompune în n factori liniari

$$\begin{aligned} A(s) &= a_0(s+J)^n = a_0(c_n s^n + c_{n-1} J s^{n-1} + c_{n-2} J^2 s^{n-2} + \dots + c_1 J^{n-1} s + c_0 J^n) = \\ &= q_0 s^n + q_1 s^{n-1} + q_2 s^{n-2} + \dots + q_{n-1} s + q_n = 0, \end{aligned} \quad (5)$$

unde $c_i = c_n^i$ reprezintă coeficienții binomului lui Newton

$$c_0 = 1; c_i = c_n^i = \frac{n(n-1)\dots(n-i+1)}{i!} = \frac{n!}{i!(n-i)!}, i = \overline{1, n} \quad (6)$$

Parametrii de acord ai regulatorului tipizat (2) se determină în urma egalării coeficienților ecuațiilor (3) și (5):

$$d_i(k_d, k_p, k_i, a_i, b_j) = q_i(a_0, c_i, J), i = n, (n-1), \dots, (n-(m-1)). \quad (7)$$

În conformitate cu egalitatea (7), pentru determinarea expresiilor de calcul a parametrilor de acord k_p, k_i, k_d ai regulatorului PID și variațiile lui, pentru care numărul parametrilor m , în dependență de tipul regulatorului poate lua valorile 1, 2 sau 3, sunt utilizați doar coeficienții ecuațiilor caracteristice (3) și (5) cu indicii $n, (n-1), (n-2)$.

Astfel, în cazul regulatorului PID se obțin următoarele egalități

$$\begin{aligned} \exp(\tau J) k_i b_l &= a_0 c_0 J^n; \\ a_r + \exp(\tau J) (k_p b_l + k_i b_{l-1}) &= a_0 c_1 J^{n-1}; \\ a_{r-1} + \exp(\tau J) (k_d b_l + k_p b_{l-1} + k_i b_{l-2}) &= a_0 c_2 J^{n-2}, \end{aligned} \quad (8)$$

Expresiile (8) conțin parametrii cunoscuți ai funcției de transfer a obiectului reglat a_i, b_j , parametrii de acord k_p, k_i, k_d , care este necesar să fie determinați și variabila ce reprezintă gradul maximal de stabilitate J al sistemului, care se determină din expresia (4).

Utilizând expresia (6) pentru calculul coeficienților binomiali c_i , în urma unor transformări ale ecuațiilor (8) și a raportării ordinului n al sistemului proiectat cu regulatorul respectiv P, PI și PID la ordinul obiectului reglat r , s-au elaborat algoritmi analitici de sinteză a reguletoarelor tipizate la modele de obiecte complexe (1) cu inerție de ordin arbitrar r , avans-întârziere, astatism și timp mort pentru sisteme automate cu răspuns aperiodic.

Pentru regulatorul P

$$J = \sqrt[r-1]{\frac{a_{r-1}}{r a_0}}; \quad k_p = \frac{\exp(-\tau J)[a_0 J^r - a_r]}{b_l}. \quad (9)$$

Pentru regulatorul PI

$$J = \sqrt[r-1]{\frac{2a_{r-1}}{(r^2+r)a_0}}; \quad k_i = \frac{\exp(-\tau J)[a_0 J^{r+1}]}{b_l}; \quad k_p = \frac{\exp(-\tau J)[(r+1)a_0 J^r - a_r] - k_i b_{l-1}}{b_l}. \quad (10)$$

Pentru regulatorul PID

$$\begin{aligned} J &= \sqrt[r-2]{\frac{6a_{r-2}}{(r^3-r)a_0}}; \\ k_i &= \frac{\exp(-\tau J)[a_0 J^{r+1}]}{b_l}; \\ k_p &= \frac{\exp(-\tau J)[(r+1)a_0 J^r - a_r] - k_i b_{l-1}}{b_l}; \\ k_d &= \frac{\exp(-\tau J)[0,5(r^2+r)a_0 J^{r-1} - a_{r-1}] - k_p b_{l-1} - k_i b_{l-2}}{b_l}. \end{aligned} \quad (11)$$

Studii de caz și simulare pe calculator

Cu scopul argumentării aplicabilității, eficacității și calității algoritmilor analitici elaborați (9)-(11), se propune sinteza reguletoarelor de tip P, PI și PID la următoarele modele de obiecte cu avans-întârziere:

$$H_F(s) = \frac{5s+1}{(2s+1)(6s+1)(8s+1)}, \quad (12)$$

$$H_F(s) = \frac{(0,2s+1)(0,6s+1)}{(0,7s+1)(1,2s+1)(5s+1)(1,5s+1)}, \quad (13)$$

Performanțele sistemului de reglare automată proiectat se compară cu performanțele obținute în rezultatul sintezei după alte metode cunoscute: Ziegler Nichols și Optimizării Parametrice.

Pentru modelul obiectului (12) au fost sintetizate regulatoarele P, PI și PID. Valorile parametrilor de acord sunt prezentate în Tabelul 1.

Tabelul 1

Rezultatele sintezei regulatorului la modelul obiectului (12)

Nr. crt.	Metoda de sinteză	Tipul regulatorului					
		P	PI		PID		
		k_p	k_p	k_i	k_p	k_i	k_d
		$J=0,23$	$J=0,16$		$J=0,2$		
1.	Metoda gradului maximal de stabilitate	0,16	0,27	0,06	1,32	0,15	0,44
2.	Metoda Ziegler Nichols	7,5	5,85	0,807	7,8	1,82	8,47
3.	Optimizarea parametrică	3,45	2,06	0,17	2,17	0,26	3,7

Procese tranzitorii și hodograful Nyquist ale sistemului automat cu regulator P sunt prezentate în Figura 1.

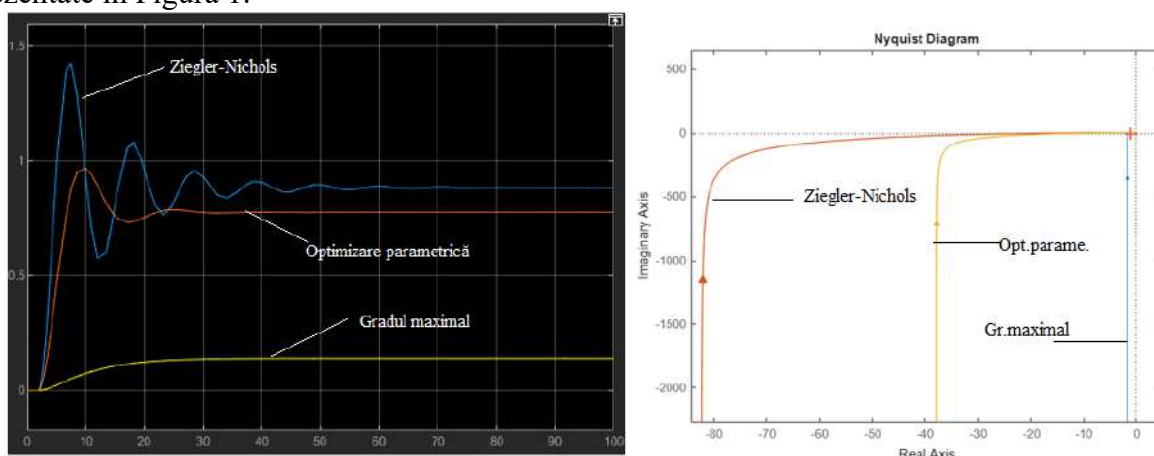


Figura 1. Procese tranzitorii și Hodograful Nyquist ale sistemului cu regulator P

Repartizarea poli-zeroouri pentru sistemul cu regulator P, folosind toate 3 metode: gradul maximal de stabilitate, optimizarea parametrică și Ziegler-Nichols, se prezintă în Figura 2.

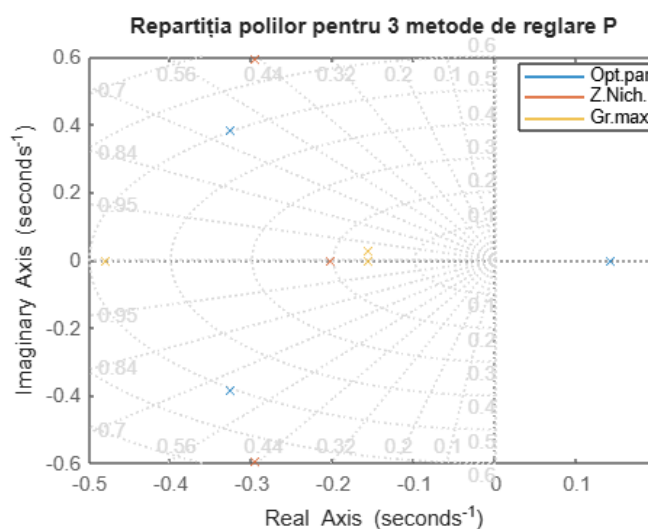


Figura 2. Repartizarea poli-zeroouri pentru sistemul cu regulator P

Procesele tranzitorii și hodograful Nyquist ale sistemului automat cu regulator PI sunt prezentate în figura 3.

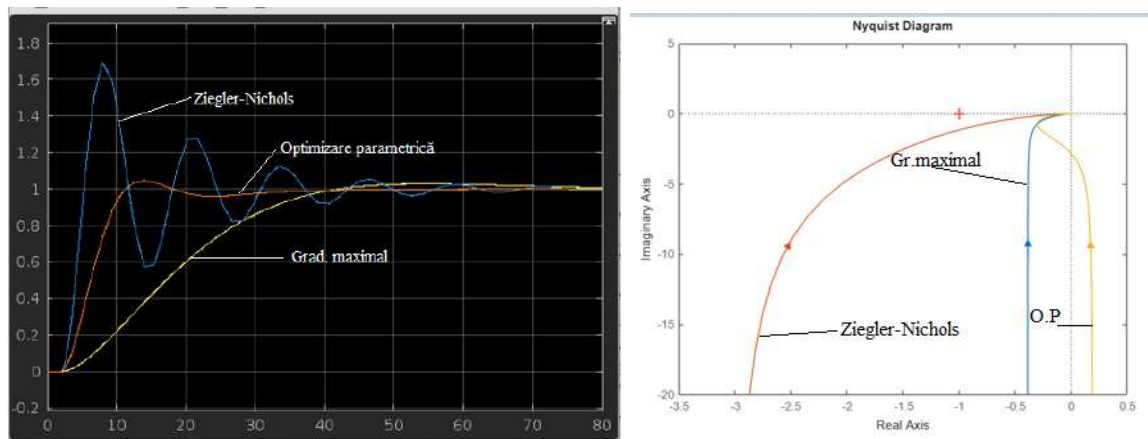


Figura 3. Procese tranzitorii și Hodograful Nyquist ale sistemului cu regulator PI

Repartizarea poli-zeroouri pentru sistemul cu regulator PI se prezintă în Figura 4.

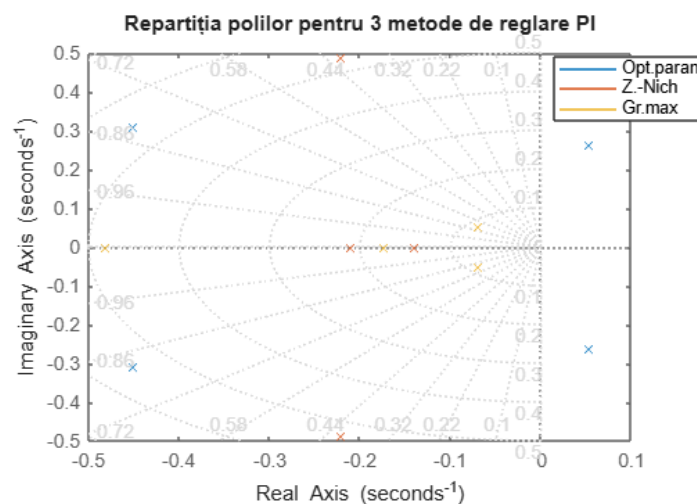


Figura 4. Repartizarea poli-zeroouri pentru sistemul cu regulator PI

Procesele tranzitorii și hodograful Nyquist ale sistemului automat cu regulator PID sunt prezentate în figura 5.

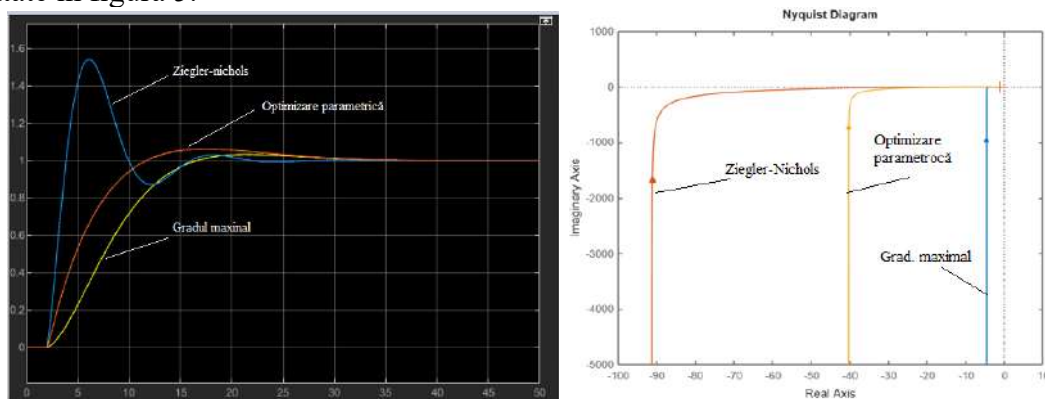


Figura 5. Procese tranzitorii și Hodograful Nyquist ale sistemului cu regulator PID

Repartizarea poli-zeroouri pentru sistemul cu regulator PI se prezintă în Figura 6.

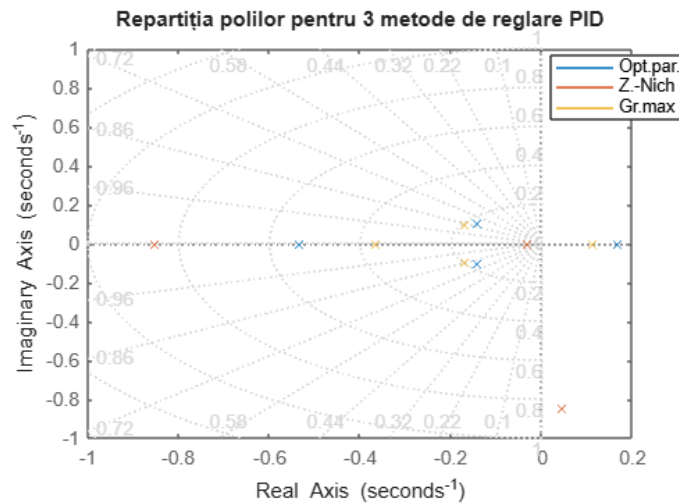


Figura 6. Repartizarea poli-zeroouri pentru sistemul cu regulator PID

Pentru modelul obiectului (13) s-a propus reglarea reglatoarelor P, PI și PID. Valorile parametrilor de reglare sunt prezentate în Tabelul 2.

Tabelul 2

Rezultatele sintezei regulatorului la modelul obiectului (13)

Nr. crt.	Metoda de sinteză	Tipul regulatorului					
		P	PI		PID		
		k_p	k_p	k_i	k_p	k_i	k_d
		$J=0,94$	$J=0,67$		$J=0,83$		
1.	Metoda gradului maximal de stabilitate	0,046	0,31	0,25	1,40	0,59	0,61
2.	Metoda Ziegler Nichols	2,02	1,82	0,44	2,43	1	1,5
3.	Optimizarea parametrică	1,88	1,015	0,35	1,62	0,51	0,89

Procesele tranzitorii și hodograful Nyquist ale sistemului automat cu regulator P sunt prezentate în figura 7.

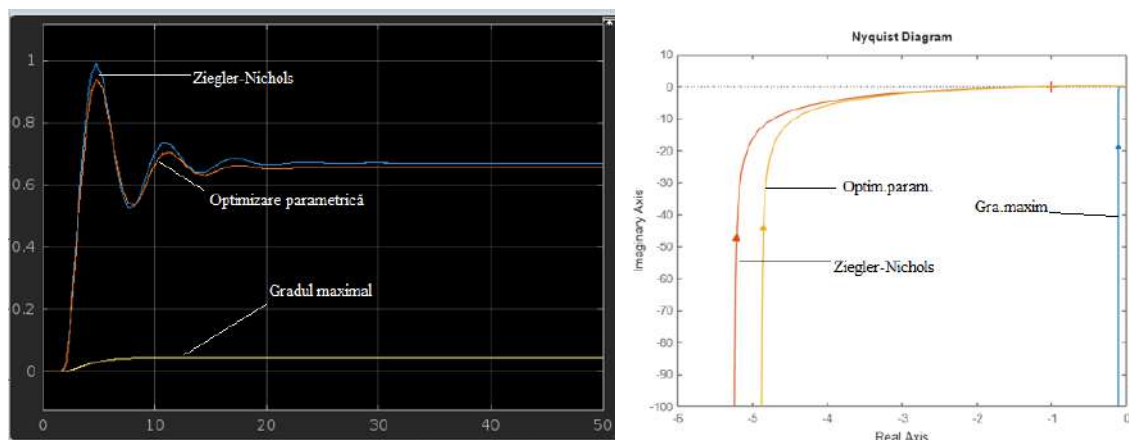


Figura 7. Procesele tranzitorii și Hodograful Nyquist ale sistemului cu regulator P

Repartizarea poli-zerouri pentru sistemul cu regulator PI se prezintă în Figura 8.

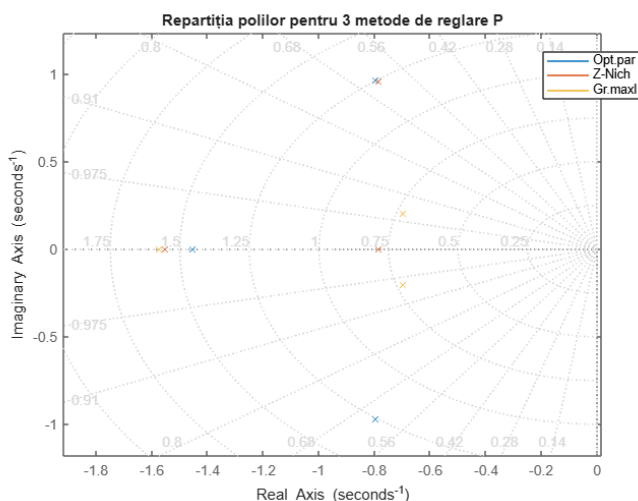


Figura 8. Repartizarea poli-zerouri pentru sistemul cu regulator P

Procese tranzitorii și hodograful Nyquist ale sistemului automat cu regulator PI sunt prezentate în figura 9.

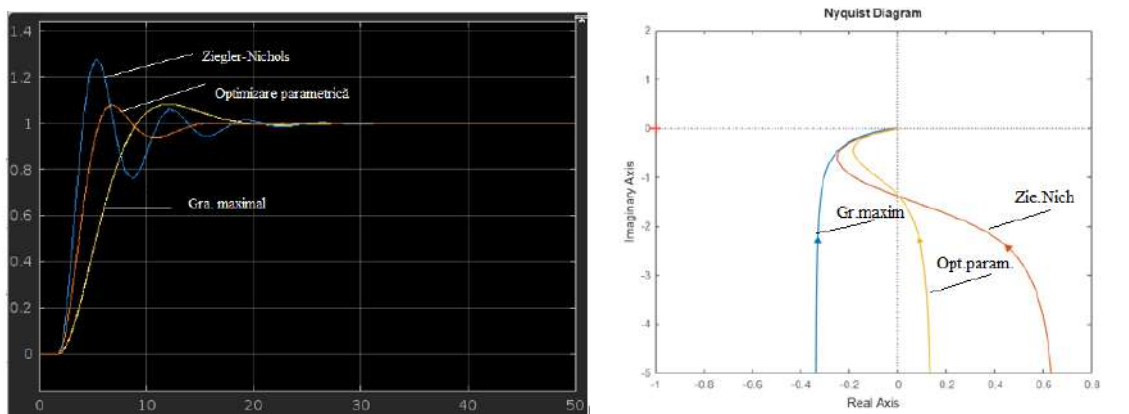


Figura 9. Procesele tranzitorii și Hodograful Nyquist ale sistemului cu regulator PI

Repartizarea poli-zerouri pentru sistemul cu regulator PI se prezintă în Figura 10.

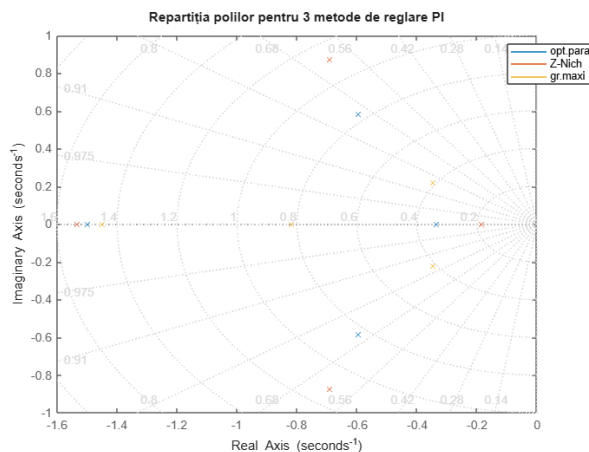


Figura 10. Repartizarea poli-zerouri pentru sistemul cu regulator PI

Procesele tranzitorii și hodograful Nyquist ale sistemului automat cu regulator PID sunt prezentate în figura 11.

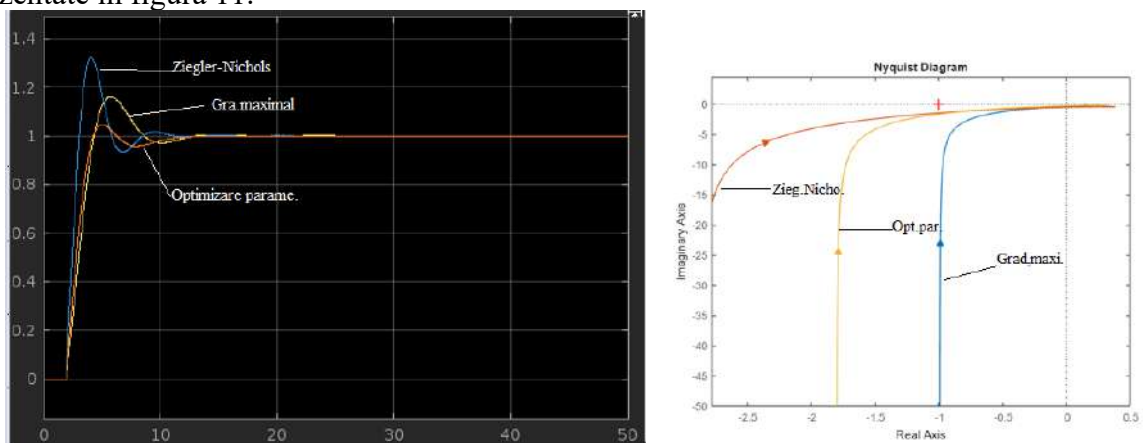


Figura 11. Procese tranzitorii și Hodograful Nyquist ale sistemului cu regulator PID

Repartizarea poli-zeroouri pentru sistemul cu regulator PI se prezintă în Figura 12.

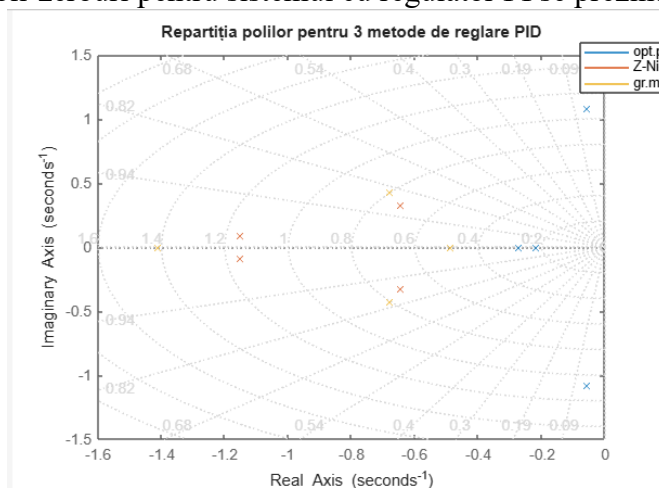


Figura 12. Repartizarea poli-zeroouri pentru sistemul cu regulator PID

Concluzii

Pe baza criteriului gradului maxim de stabilitate, au fost elaborate noi algoritmi analitici pentru sinteza reguletoarelor de tip PID pentru modele complexe de obiecte: cu inerție de ordin arbitrar, avans-întârziere, astatism și timp mort. Algoritmii analitici dezvoltati sunt prezentați sub forma unor expresii algebrice, care exprimă dependența parametrilor de reglare ai regulatorului față de parametrii cunoscuți ai modelului obiectului de reglare.

Pentru a demonstra eficiența algoritmilor dezvoltati, au fost sintetizate mai multe tipuri de reguletoare: P, PI și PID pentru diverse modele de obiecte.

Pentru comparație, au fost utilizate metodele Ziegler-Nichols și Optimizarea Parametrică.

Metodele propuse de sinteză a reguletoarelor reprezintă proceduri analitice simple, necesită un volum redus de calcule, nu impun restricții asupra complexității obiectelor reglate.

Analizând performanțele sistemelor automate proiectate s-a constatat că algoritmii propuși oferă sistemelor o rezervă mai mare de stabilitate, procese aperiodice și performanțe mai ridicate față de majoritatea metodelor de sinteză utilizate, iar gradul de stabilitate este cel mai mare.

Referințe

1. DUMITRACHE, I., *Ingineria reglării automate*. București: Politehnica Press, 2005. 725 p.
2. LAZĂR, C.; VRABIE, D.; CARARI, S., *Sisteme automate cu regulatoare PID*. București: MATRIX ROM, 2004. 220 p.
3. ÅSTRÖM, K. J.; HAGGLUND, T., *Advanced PID control*. - USA: The Instrumentation, Systems and Automation Society, 2006, 460 p.
4. O'DWYER, A., *Handbook of PI and PID controller tuning rules*. 3rd Edition. Imperial College Press, 2009. 608 p.
5. КИМ, Д. П., Теория автоматического управления. Т. 1. Линейные системы. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 288 с.
6. FIODOROV, I.; IZVOREANU, B.; COJUHARI, I. Synthesis of Robust PID Controller by the Maximum Stability Degree Criterion. In: *Proceedings of 2015 20th International Conference on Control Systems and Computer Science - CSCS-2015*, 27-29 May 2015. București, UPB, România. Volume 1, CSCS20 Main Track, pp. 57-64. ISBN 978-1-4799-1779-2.
7. FIODOROV, I. Synthesis Algorithms of Controllers for Automatic Control Systems with Maximum Stability Degree. In: *Annals of the University of Craiova, Electrical Engineering series (CNCSIS B+ category journal)*, No. 37, 2013; ISSN 1842-4805. pp. 139-143.
8. FIODOROV, I.; IZVOREANU, B.; COJUHARI, I.; BARANOV, S. Analytical Synthesis Algorithms of the Controllers for the Automatic Control Systems with Maximum Stability Degree and Imposed Performance. In: *Proceedings of the 13th International Conference on Development and Application Systems*, Suceava, România, May 19-21, 2016. Pp. 26-32, 978-1-5090-1993-9/16/\$31.00 ©2016 IEEE



SUBSECȚIA ȘTIINȚA CALCULATOARELOR
SUBSECTION COMPUTER SCIENCE

FUNCTIONAL PROGRAMMING IN UNIVERSITIES FROM REPUBLIC OF MOLDOVA

Lina SCRIPCA,

*Department of Software Engineering and Automatics, group IS-241M, Faculty of Computers, Informatics and
Microelectronics, Technical University of Moldova, Chișinău, Republic of Moldova*

*Correspondent author: Lina Scripca, e-mail: lina.scripca@isa.utm.md

Scientific coordinator **Mihail GAVRILIȚA**, university assistant,
Department of Software Engineering and Automatics

Abstract. *This article is the first of its kind to analyze the educational curricula, active for the year 2023-2024, of computer science specialties in eight public and private higher education institutions in the Republic of Moldova, in order to determine the programming paradigms studied in the courses offered to students currently pursuing their bachelors degrees. The main focus of the study is on verifying the existence of a possible bias between the teaching of functional programming and object-oriented programming paradigms. The data was gathered by careful investigation of online curriculum sheets and catalogues present on the official university webpages to obtain a result that confirmed the hypothesis of functional programming being less commonly studied within the borders of the country.*

Keywords: *programming paradigm, functional programming, object oriented programming, education, university curriculum.*

Introduction

In the context of the elimination of the Real-Time Programming course from the Software Engineering curriculum, within which laboratory work was carried out strictly using functional programming languages, in accordance with the 2021 curriculum[1, 2], arose the hypothesis that there exists a negative bias in undergraduate programs in our country towards this paradigm, in favor of other paradigms, such as object-oriented programming.

A programming paradigm represents a method of structuring data and an approach to solving programming problems guided by the rules of certain languages [3]. Several types of paradigms are distinguished, two of the most prominent being the functional (FP) and object-oriented (OOP) paradigms. Functional Programming involves the implementation of a declarative paradigm that tries to minimize the saving and use of states during program execution, in favor of chaining expressions and functions until the final result is obtained [4]. OOP, meanwhile, focuses on translating the states of everyday subjects into objects and the interaction between them [5]. These two definitions place the given paradigms as two diametrically opposed approaches. From lack of states to prioritization of states, from favoring the definition of processes, avoiding side effects, to favoring the evolution of data within their transformations.

Both approaches present both benefits and disadvantages, the description of which is dedicated to separate articles, in which the authors recommend programmers to familiarize themselves with concepts from both [6]. Thus, despite the discourses about the superiority of one over the other, prevalent until now, the current evolution of modern languages indicates trends of combining tools from both paradigms, in order to provide more freedom to developers to solve complex tasks [7].

The following research will analyze whether the current curricula of undergraduate programs at higher education institutions in the country have also been adapted to the reality of the need to study concepts from both paradigms.

Materials and Methods

This research collected data on the educational curricula at the undergraduate level, with a full-time study form, of eight active state and private universities that offer specializations focused totally or partially on information technologies:

- Technical University of Moldova (UTM)[8];
- State University of Moldova (USM)[9];
- Academy of Economic Studies of Moldova (ASEM)[10];
- Ion Creangă State Pedagogical University of Chişinău (UPSC)[11];
- Alecu Russo State University of Balti(USARB)[12];
- Comrat State University (KDU)[13];
- Bogdan Petriceicu Haşdeu State University (USCH)[14];
- Free International University of Moldova (ULIM)[15].

The current curricula of their specialties (active for the 2023-2024 academic year), placed on the official websites of the universities, was studied to determine the presence of two types of courses: courses that specify the learning of concepts and languages traditionally considered OOP and courses that specify the learning of FP languages and concepts. For certain disciplines with vague namings or descriptions, the course catalogue offered by the university was also researched, upon availability.

All mandatory courses that contained the term "Functional Programming" in their title were considered as FP-oriented courses. Courses that contained terms analogous to "Object-Oriented Programming" in their title, courses that contained the study of languages traditionally considered to implement the OOP paradigm, such as "Java" or "C#" (for example, "Basics of Programming in Java") as well as courses that had modules dedicated to OOP concepts were considered OOP-oriented for this study.

Doubled courses, meaning the same courses taught in two different majors, were counted multiple times. Thus, an Object Oriented Programming course in the Information Technologies and Applied Informatics major of the same university will be considered as two different courses, in the context of this research.

Results

The research yielded the results shown in Table 1:

Table 1

Repartition of OOP and FP courses across Universities

University	Nr. of Majors Researched	Nr. of OOP Courses	Nr. of FP Courses
UTM	12	24	0
USM	4	8	1
ASEM	3	6	2
UPSC	4	10	0
USARB	3	10	0
KDU	1	2	1
USCH	1	2	0
ULIM	4	15	1
Total	32	77	5

As can be observed, after analyzing 32 specialties across eight universities, there is a pronounced bias in favor of Object-Oriented Programming courses, compared to Functional Programming courses, the total number of which is 15.4 times higher, creating a proportional split of 93.9% in favor of OOP courses and only 6.1% for FP courses. Functional programming courses that are part of the core curriculum of the specialty are found only at USM; ASEM, KDU and ULIM, half of the universities surveyed, compared to OOP courses that are present in all universities in number of at least 2.

Within the universities that encourage studying FP, the lowest proportion of FP to OOP courses is found in UKD, being 1:2. The highest proportion is within ULIM, being 1:15.

From Fig 1, it can be seen that the university with the most OOP courses is the Technical University, followed by ULIM and UPSC and USARB. The universities with the fewest OOP courses are KDU and USCH, which can be attributed to the number of IT-related specialty offers. The university with the most FP courses, meanwhile, is ASEM, with two courses offered.

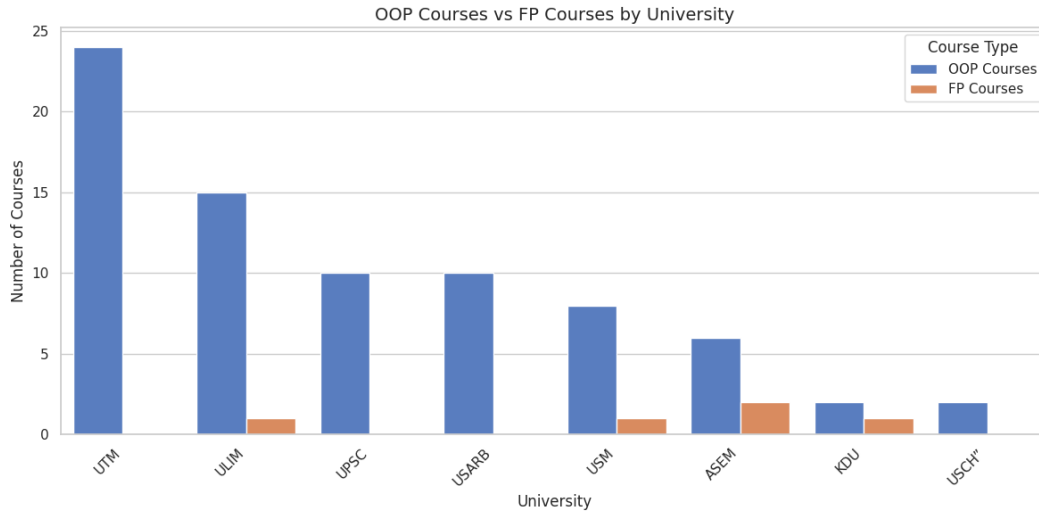


Figure 1. Repartition of OOP and FP courses across Universities

A more detailed analysis of OOP and FP courses across each major of each university can be found in Figure 2:

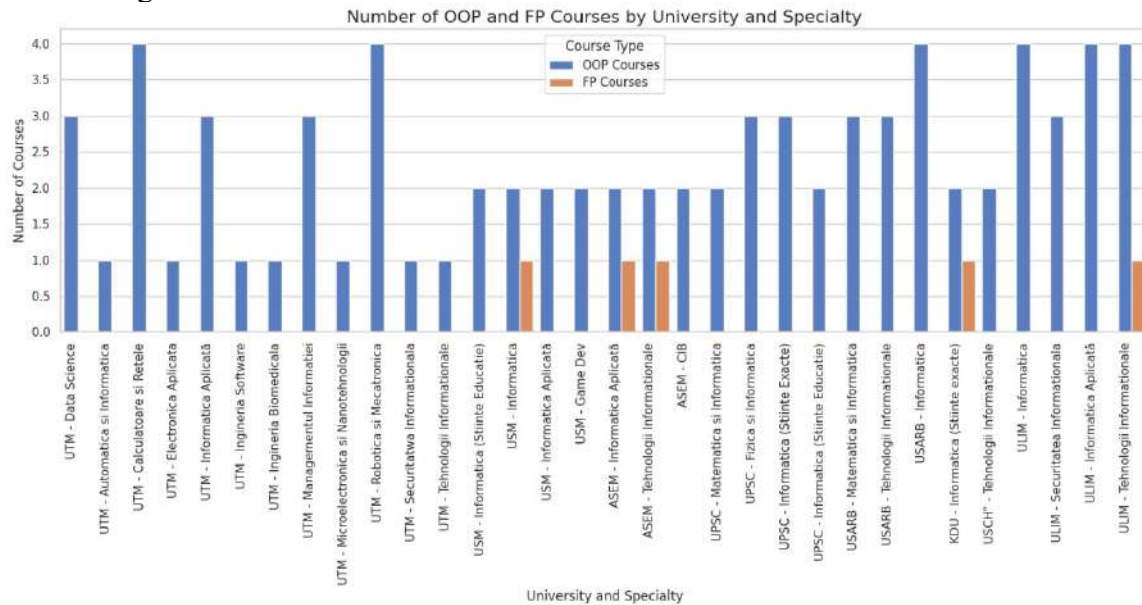


Figure 2. Repartition of OOP and FP courses across majors

As can be seen, the specialties with the most PF courses are Informatics and Information Technologies, only Applied Informatics of ASEM having an additional PF course, however, the distribution remains at only 1 course per specialty. Meanwhile, for OOP courses, their number varies from 1 course per specialty to 4, most having at least 2.

It is worth noting, however, that the low number of OOP courses in UTM specialties is a result of the university's policy of not offering specific language courses, in order to encourage the teaching of general concepts, instead of the basics of certain languages. Moreover, UTM, ULIM, ASEM and USM do not offer at the time of writing a complete and comprehensive

catalogue of all the courses proposed, so some course presentations may be based on information that can no longer be considered current.

Conclusion

This paper researched the courses offered by universities in the Republic of Moldova to IT majors in order to confirm or deny the assumption of a bias against teaching the concepts of the Functional Programming paradigm. This assumption was confirmed, so that after studying eight universities in Moldova, a major difference was found between the number of Functional Programming courses, compared to another popular paradigm, Object-Oriented Programming. The number of OOP paradigm courses turned out to be 15.4 times higher, a significant difference that the researchers would prefer be rectified in the coming years.

References

1. Universitatea Tehnică a Moldovei, Plan de învățământ, Ingineria Software, 2020. Available Online: https://fcim.utm.md/wp-content/uploads/sites/24/2019/06/Plan-FCIM_IS_modificat-2020.pdf (Accessed 10 October 2024)
2. Universitatea Tehnică a Moldovei, Plan de învățământ, Ingineria Software, 2021 - modificat 2023. Available online: <https://utm.md/wp-content/uploads/2023/08/inginerie-software-modificat-23.03.2023.pdf> (Accessed 10 October 2024)
3. M. MURARU, Paradigme de programare. Note de curs, 2012. Available online: https://ocw.cs.pub.ro/courses/_media/pp/23/cursuri/mihnea/handouts-8.pdf (Accessed 10 October 2024)
4. P. HUDAK, Conception, evolution, and application of functional programming languages, *ACM Computing Surveys*, 1989, vol. 21, no. 3, pp. 359–411.
5. UTM, Programarea Orientată pe Obiecte. Available Online: <https://lectii.utm.md/courses/programarea-orientata-pe-obiecte/> (Accessed: 10 October)
6. D. ALIC, S. OMANOVIC, and V. GIEDRIMAS, “Comparative analysis of functional and object-oriented programming,” in *39th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*, Opatija, Croatia, 2016, pp. 667–672, doi: 10.1109/MIPRO.2016.7522224.
7. EQS Tech Blog, Java as a functional programming language. Available Online: <https://medium.com/eqs-tech-blog/the-unnecessary-oop-vs-functional-programming-battle-488e768e20d1> (Accessed 10 October 2024)
8. Universitatea Tehnică a Moldovei, Programe de Licență. Available Online: <https://fcim.utm.md/procesul-de-studii/programe-de-licenta/> (Accessed 10 October 2024)
9. Universitatea de Stat din Moldova, Facultăți și oferte de studii. Available Online: https://international.usm.md/?page_id=422 (Accessed 14 October 2024)
10. Academia de Studii Economice din Moldova, Programe licență. Available Online: <https://ase.md/programe-licenta/> (Accessed 14 October 2024)
11. Universitatea Pedagogică de Stat "Ion Creangă", Catalogul Cursurilor Licența UPSC, 2024. Available Online: <https://tinyurl.com/2ezcefwx> (Accessed 10 October 2024)
12. Universitatea de Stat “Alecu Russo” din Bălți, Catalogul cursurilor ciclul I, studii superioare licență. Available Online: <https://usarb.md/catalogul-cursurilor-ciclul-i-licenta/> (Accessed 14 October 2024)
13. KDU Moldova, Studii de licență. Available Online: <https://kdu.md/ro/uchebnyj-protsess/studii-de-licenta-licentiat> (Accessed 14 October 2024)
14. Universitatea de Stat “Constantin Stere”, Programe de licență. Available Online: <https://feisa.usch.md/programe-de-licenta/> (Accessed 14 October 2024)
15. ULIM, Informatica. Studii Licență. Available Online: <https://ulim.md/facultatea-informatica-inginerie-design/#informatica-studii-licenta> (Accessed 14 October 2024)

EVOLUȚIA ALGORITMILOR DE COMPRESIE VIDEO: DE LA MPEG-1 LA AV1 ȘI H.266 (VVC)

Irina GRIGORAȘ*

Departamentul Ingineria Software și Automatică, gr. TI-241M,
Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

*Autorul corespondent: Grigoraș Irina, irina.grigoras@isa.utm.md

Îndrumătorul științific Pavel CHIREV, lect. univ. doc. inginer, FCIM

Rezumat. *Articolul abordează evoluția tehnologică a compresiei video, explorând conceptele fundamentale și algoritmi cheie care au condus la îmbunătățirea eficienței acestora în aplicațiile multimedia. Scopul cercetării este de a analiza impactul algoritmilor de compresie asupra calității video, începând cu standardele inițiale, cum ar fi MPEG-1 și MPEG-2, și continuând cu tehnologiile moderne, precum AV1 și H.266. În articol se descrie sumar fiecare dintre principalii algoritmi de compresie video, inclusiv MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4, H.264/AVC, H.265/HEVC, VP8/VP9(Google), AV1 și H.266/VVC. Se analizează evoluția acestora și îmbunătățirile aduse în ceea ce privește performanța (eficiența compresiei) și calitatea video, prin compararea dimensiunii fișierului comprimat. În final, sunt prezentate perspectivele de dezvoltare ale domeniului, iar în concluzii se subliniază importanța acestor progrese tehnologice pentru performanța aplicațiilor video. Rezultatele evidențiază modul în care limitările algoritmilor anteriori și dezvoltarea tehnologiilor au condus la apariția unor versiuni noi de algoritmi, cu performanțe îmbunătățite.*

Cuvinte cheie: *codec, compresie, video digital, bitrate, eficiență, evoluție.*

Introducere

Cererea pentru aplicațiile video devine din ce în ce mai mare, deci se caută o modalitate eficientă de management a conținutului video pentru a evita supraîncărcarea rețelei de transport. În acest scop sunt utilizate codecuri, care vin să ofere suport în reducerea volumului informației pentru a minimiza consumul de bandă și a spațiului de stocare. De ce este important acest lucru? Pentru că cu creșterea continuă a informației transmise prin rețele cu capacitate stabilă, este nevoie de noi modalități de a minimiza volumul de date transmise cu pierdere minimă a informației.

Scopul articolului este de a analiza evoluția principalilor algoritmi de compresie video, cum codecurile noi au reușit să treacă peste limitele celor vechi. Acesta oferă o imagine de ansamblu despre fundamentele compresiei video și a evoluției standardelor.

1. Evoluția algoritmilor de compresie video și standardizarea lor

Prima idee a apărut în 1929, când R.D. Kell a propus conceptul de compresie intercadre pentru video analog, care salvează doar modificările dintre cadre. În anii 1950 și 60, cercetătorii au început să exploreze forme mai avansate de compresie. Bell Labs a propus utilizarea modulației diferențiale a impulsurilor cod (DPCM) în 1952. Până în 1959, codarea predictivă intercadre a fost introdusă de cercetătorii japonezi de la NHK, iar în 1967, introducerea Run-Length Encoding(RLE) de către cercetătorii de la Universitatea din Londra[1].

Anii 1970 și 80 este un punct de cotitură. Nasir Ahmed și cu colegii săi, în modularea în cod pulse digital (PCM) și prin munca lor la Transformarea Cosinus Discretă (DCT), au pus baze semnificative ale celor mai moderne tehnici de compresie video.

La mijlocul anilor '80, a fost introdus primul standard de compresie video digitală – H.120 cu o utilizare practică limitată. H.261 a urmat în 1988 și a devenit primul standard cu adevărat de succes, stabilind șablonul pentru multe altele.

MPEG-1 este cu pierderi și a fost publicat în 1993. A fost optimizat pentru rezoluții și framerate-uri compatibile cu televiziunea analogică. Acesta a permis realizarea unor servicii practice, cum ar fi CD-urile video, televiziunea digitală prin cablu sau satelit, și transmisia audio digitală[2]. Folosește conversia culorilor în spațiul YUV și compresia bloc cu bloc, cu macroblocuri de 16×16 pixeli. Limitările sunt: rezoluție limitată, rată de compresie scăzută, eficiență redusă la bitrate-uri mai mari.

MPEG-2 este publicat în 1994 și utilizează tehnici precum estimarea vectorilor de mișcare, DCT și codificarea Huffman. Este utilizat în transmisia de televiziune digitală prin eter și în standardul DVD-Video. MPEG-2 are limitări ca necesitatea unui bitrate constant și sensibilitatea la erori de transmisie, care pot cauza pierderea de cadre sau artefacte vizuale semnificative, precum blocuri verzi, zgomot de țânțar.

MPEG-4 a fost finalizat în octombrie 1998 și a devenit standard internațional în primele luni ale anului 1999. Este ideal pentru stocarea și transmiterea eficientă a conținutului multimedia cu adaptare în timp real la condițiile rețelei. Codecul utilizează tehnici precum compensarea mișcării, codarea cu rată variabilă și codarea pe obiecte. Limitările MPEG-4 sunt că are nevoie de mai multă putere de procesare, probleme de compatibilitate, costuri de licențiere.

H.264, alfel numit și MPEG-4 AVC, codec cu pierderi, utilizat inclusive în DICOM. A fost publicat în mai 2003 și este larg utilizat. Este capabil să reducă dimensiunea fișierelor video fără a degrada semnificativ calitatea, cu instrumente precum predicția intercadru, estimarea mișcării și codarea entropică[3]. Este utilizat în streaming, conferințe video, difuzare și afișaj digital. Are cerințe ridicate de procesare, eficiența scăzută pentru videoclipuri de rezoluție înaltă, lipsa suportului pentru procesare paralelă.

VP8, lansat în 2008 de On2 Technologies, este open-source. În 2010, Google a achiziționat On2 sub o licență liberă. VP8 utilizează compresie interframe și intraframe, cu suport pentru predicție intra-frame pe 4 și 16 pixeli, transformări discrete cosin și codificare entropică. Este ideal pentru aplicații în timp real precum WebRTC, conferințe video și este util în condiții de bandă redusă. Nu e compatibil cu toate platformele[4].

H.265, sau altfel numit HEVC, este lansat în aprilie 2013. Acesta reduce dimensiunea fișierelor video cu până la 50% față de H.264 și cu 75% față de MPEG-2, menținând în același timp o calitate ridicată a imaginii. HEVC funcționează prin eliminarea redundanței spațiale și temporale din video. Codecul oferă eficiență în utilizarea lățimii de bandă și spațiului de stocare, susținând rezoluții de până la 8K, dar implică costuri ridicate pentru hardware, probleme de compatibilitate, cerințe mari de procesare [5].

VP9, lansat în 2013, oferă o eficiență de compresie îmbunătățită, cu 30–50% mai bună față de VP8. Este un codec open-source. VP9 este capabil să redea conținut de înaltă calitate chiar și la bitrate-uri scăzute, ideal pentru aplicații precum streaming 4K sau conținut HDR. Suportă rezoluții foarte mari și este conceput să funcționeze eficient pe arhitecturi moderne. Are beneficii în ceea ce privește compresia și calitatea imaginii, mai ales în platforme unde lățimea de bandă este o resursă limitată[4].

AV1, lansat în 2018 și dezvoltat de Alliance for Open Media, oferă compresie superioară și calitate video ridicată, fiind și open-source și fără taxe de licență[4]. Este potrivit pentru conținut HD/UHD și streaming 4K/8K. Are eficiență de compresie cu până la 50% mai bună decât H.264 și H.265, calitate video excelentă la bitrate-uri reduse, codare lentă. Conform unor teste, Netflix a constatat că AV1 este cu 20% mai eficient decât VP9 și testele Google au arătat creșteri ale eficienței cu 30–35% față de VP9.

H.266, sub denumirea de Versatile Video Coding (VVC), este dezvoltat de Joint Video Experts Team și lansat pe 6 iulie 2020[6]. Comparativ cu H.265, noul codec reușește să reducă dimensiunea fișierelor video cu aproximativ 50%, fără pierderi vizibile de calitate, deci pentru streaming se utilizează de streaming se folosește mai puțină lățime de bandă. VVC este potrivit pentru redarea conținutului VR și a celui 360°. Are compresie îmbunătățită, calitate ridicată și costuri mai mici de stocare și transmisie.

2. Comparația algoritmilor și direcții viitoare

Fiecare dintre aceste codec-uri are propriile puncte slabe și puncte tari. Tabelul 1 oferă o comparație asupra principalelor codec-uri video utilizate în prezent, analizând mai multe caracteristici. Aceste comparații sunt importante pentru alegerea unui codec potrivit în funcție de cerințele aplicației, resursele disponibile și obiectivele de performanță.

Tabelul 1

Comparații dintre codec-uri

Codec	Eficiență compresie	Calitate	Mărime fișier	Suport hardware	Cost licență	Domenii principale de utilizare
MPEG-1	Scăzută	Medie	Mare	Foarte extins (învechit)	Ridicat	CD Video, începuturi multimedia
MPEG-2	Scăzută	Medie	Mare	Extins	Ridicat	Televiziune digitală, DVD
MPEG-4	Medie	Bună	Mediu	Extins	Variabil	Streaming mobil, CD/DVD
H.264	Bună	Bună	Mediu	Foarte extins	Ridicat	DICOM, streaming, conferințe
VP8	Medie	Bună	Mediu	Redus	Gratuit	WebRTC, chat video bazat pe browser
H.265	Foarte bună	Foarte bună	Mai mic	Crește treptat	Ridicat	4K/8K video, transmisiuni live
VP9	Bună	Foarte bună	Mult mai mic	Bun	Gratuit	YouTube, streaming, aplicații web
AV1	Bună	Foarte bună	Mult mai mic	Limitat, dar în creștere	Gratuit	YouTube, Netflix, streaming majore
H.266	Bună	Foarte bună	Foarte mic	Foarte limitat (în dezvoltare)	Ridicat	8K video, AR/VR, aplicații cu latență scăzută

Conform tabelului 1 MPEG-1 a fost esențial pentru necesitățile vremii, urmat de MPEG-2 cu îmbunătățiri, dar limitări în eficiență. MPEG-4 a optimizat compresia, dar a crescut cerințele de procesare. H.264 a devenit standard datorită echilibrului dintre calitate și eficiență. VP9 este mai eficient decât VP8, dar uneori sub H.265. AV1 și H.266 reprezintă cele mai recente inovații, cu eficiență crescută, dar extinderea lor este încă limitată din cauza cerințelor hardware ridicate. Cu ritmul rapid al tehnologiei, adoptarea acestora pe scară largă pare inevitabilă.

O direcție viitoare este utilizarea rețelelor neuronale pentru compresia video. Algoritmii de tip deep learning pot învăța modele de redare și predictibilitate mai eficiente decât metodele clasice, ducând la o compresie superioară din punct de vedere al raportului calitate/bitrate.

Compresia video va juca un rol imens în tehnologii precum: realitatea augmentată și realitatea virtuală, unde necesită streaming de conținut 360°, vehicule autonome, transmisii satelit și comunicații spațiale, unde lățimea de bandă este extrem de limitată, telemedicină și chirurgie asistată video.

Concluzii

În contextul cercetării, s-a investigat procesul evolutiv al algoritmilor de compresie video, de la MPEG-1, până la AV1 și H.266. Rezultatele acumulate sunt valoroase din punct de vedere teoretic, însă au fost limitate de caracterul general al analizei. Aceste rezultate sunt prezentate în

tabelul 1 de mai sus. Fiecare codec este, fie o depășire a unor limite anterioare, fie o dezvoltare într-un domeniu.

Pe măsură ce streamingul video devine tot mai popular și necesită lățimi de bandă mai mari, inovațiile în algoritmi de compresie vor continua să fie esențiale pentru menținerea calității experienței vizuale, optimizând în același timp consumul de resurse.

Referințe

1. The history of video compression standards, from 1929 until now. Disponibil online: <https://api.video/blog/video-trends/the-history-of-video-compression-starts-in-1929/> (accesat la data de 10 aprilie 2025).
2. MPEG-1 Video Compression. Disponibil online: https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-0-387-78414-4_118 (accesat la data de 05 aprilie 2025).
3. MPEG-4 AVC/H.264 High Profile / Level 4.1 Video Compression. Disponibil online: https://dicom.nema.org/medical/dicom/current/output/chtml/part05/sect_8.2.7.html (accesat la data de 06 aprilie 2025).
4. VP8, VP9, AV1 Encoding Standards and WebM. Disponibil online: <https://openmp4file.com/av1.html> (accesat la data de 16 aprilie 2025).
5. HEVC/H.265 Codec (High Efficiency Video Coding). Disponibil online: <https://www.vdocipher.com/blog/hevc/> (accesat la data de 13 aprilie 2025).
6. Understanding the H.266 Codec: The Future of Video Compression. Disponibil online: <https://castr.com/blog/h-266-codec-vcv/> (accesat la data de 20 aprilie 2025).

ALGORITMUL PAGERANK PENTRU EVALUAREA PAGINILOR WEB

Daniela PLĂMĂDEALĂ

SD-231, Facultatea Calculatoare, Informatică și Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei,
Chișinău, Republica Moldova

*Autor corespondent: Daniela Plămădeală, daniela.plamadeala@iis.utm.md

Coordonator: Vasile MORARU, prof. univ. dr., Departamentul Informatică și Ingineria Sistemelor, UTM

Rezumat: Acest studiu investighează în profunzime algoritmul PageRank, un mecanism esențial în clasificarea paginilor web utilizat de motoarele de căutare pentru a oferi rezultate relevante. Modelul matematic este construit pe baza unui graf orientat care structurează Internetul, în care nodurile corespund paginilor web, iar muchiile reprezintă hyperlink-urile. Din această reprezentare derivă o matrice stocastică, transformată ulterior într-o matrice Google prin introducerea unui mecanism de „teleportare”, pentru a evita blocajele cauzate de noduri fără ieșire. Determinarea scorurilor PageRank, asociate importanței fiecărei pagini, se realizează prin identificarea vectorului propriu dominant al acestei matrice. În acest context, studiul pune un accent deosebit pe metoda puterii, o tehnică iterativă utilizată pentru aproximarea numerică a acestui vector. Este analizată schema recursivă a metodei, convergența sa liniară și dependența de factorul de amortizare α , precum și compromisurile implicite între fidelitatea modelării și eficiența computațională.

Totodată, cercetarea evaluează stabilitatea algoritmului și sensibilitatea acestuia la perturbări structurale ale grafului, evidențiind cum modificări minore în topologia rețelei pot altera semnificativ clasamentele rezultate. Aceste aspecte sunt cruciale în contextul dezvoltării unor sisteme robuste de clasificare automată, iar concluziile studiului oferă perspective utile pentru optimizarea motoarelor de căutare și pentru înțelegerea profundă a algoritmilor de rețea.

Cuvinte cheie: algoritm, graf orientat, matricea Google, matrice stocastică, metoda puterii, PageRank, sensibilitate la perturbări, stabilitate ordinală.

Introducere

În era informațională, clasamentul paginilor web este esențial pentru navigarea eficientă pe Internet. Unul dintre imperativele fundamentale cu care Google se confruntă este clasificarea eficientă a paginilor web. Pentru a furniza rezultate relevante utilizatorilor, fiecare pagină trebuie ordonată în funcție de un set riguros de criterii. Dar cum poate fi realizată această ierarhizare în mod obiectiv și scalabil? O abordare intuitivă ar fi să evaluăm o pagină în funcție de numărul de alte pagini care fac trimitere către ea — cu cât mai multe, cu atât mai bine. Totuși, această metrică brută devine insuficientă atunci când conștientizăm că *nu toate linkurile au aceeași valoare*: o trimitere de pe o pagină lipsită de relevanță nu poate fi echivalată cu una provenită dintr-o sursă de autoritate. Astfel, apare o relație recursivă elegantă: valoarea unei pagini depinde de valoarea celor care o citează, iar acestea, la rândul lor, depind de alte pagini, și tot așa.

Neîndoielnic, conceptul de PageRank se prezintă ca fiind o soluție matematică rafinată a unei probleme de structură pe graful webului. De altfel, numele acestui algoritm nu derivă din cuvântul „pagină” (page), ci din numele fondatorului Google, Larry Page — o coincidență fericită și subtil ironică [1]. Această cercetare explorează din perspectivă matematică modelul PageRank, cu accent pe reprezentarea Internetului ca graf orientat, matricea asociată — numită „Google Matrix” — și metoda puterii folosită pentru determinarea vectorului propriu dominant, ce definește relevanța paginilor web.

Internetul ca Model Matematic: Grafuri și Matrice

Reprezentarea ca graf

Internetul poate fi modelat matematic printr-un graf orientat $G = (V, E)$, în Fig. 1, unde:

- V este mulțimea nodurilor (paginile web);
- E este mulțimea muchiilor (hyperlink-urile).

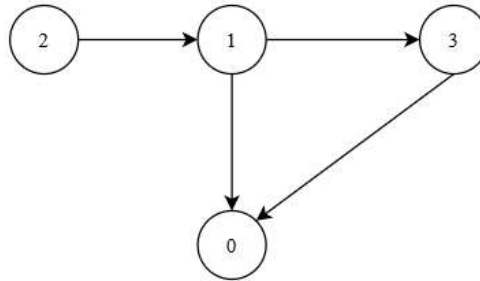


Figura 1. Reprezentarea simplificată a Internetului printr-un graf orientat

Fiecare link dintre două pagini implică o relație direcționată ($i \rightarrow j$), iar întreaga structură a webului este o rețea de conectivitate aleatorie [2], însă cu trăsături caracteristice grafurilor scalate („scale-free networks”) și distribuție de grad puternic neregulată.

Matricea Stocastică S

Acest graf este transpus sub forma unei matrice stocastice S , definită astfel:

fiecare element S_{ij} exprimă probabilitatea de tranziție de la pagina i la pagina j - adică șansa ca un utilizator aflat pe pagina i să urmeze un hyperlink către pagina j ;

suma elementelor fiecărui rând este egală cu 1, reflectând caracterul probabilistic al comportamentului de navigare: din orice pagină, utilizatorul trebuie să *aleagă* o destinație (sau să rămână, dacă nu există linkuri).

O reprezentare simplificată a acestei matrice ar putea arăta în felul următor:

$$S = \begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 0 & \dots \\ \frac{1}{3} & 0 & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \dots \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{pmatrix}$$

Această matrice captează, într-o formă matematică elegantă, comportamentul de navigare aleatorie al utilizatorului care parcurge rețeaua web prin click-uri pe linkuri, fiecare tranziție fiind guvernată de o probabilitate asociată hyperlink-urilor dintre pagini [2].

Matricea Google G

Datorită paginilor fără linkuri externe („dangling nodes”), matricea S poate genera stări absorbante în **modelul Markovian** [2], blocând utilizatorul virtual într-o pagină, fără a mai avea posibilitatea de a continua navigarea. Această caracteristică subminează stabilitatea și realismul modelului, întrucât, într-o rețea dinamică precum Internetul, fluxul de informație nu încetează niciodată printr-o simplă „fundătură” [3]. Pentru remediere, Google introduce matricea Google: $G = \alpha S + (1 - \alpha)\mathbf{1}v^T$, unde:

- $\alpha \in [0, 1)$ este factorul de amortizare (în mod tradițional $\alpha = 0.85$).
- $\mathbf{1} = (\mathbf{1}, \mathbf{1}, \dots, \mathbf{1})^T$ reprezintă vectorul cu toate componentele egale cu 1.
- v este vectorul de personalizare, care poate reflecta preferințele utilizatorului.

Această combinație convexă modelează „teleportarea” în rețea, oferind utilizatorului șansa să ajungă, cu o anumită probabilitate, pe orice pagină, indiferent de linkurile disponibile. Așadar, matricea G devine ireductibilă și aperiodică, asigurând, conform teoremei lui Perron-

Frobenius, existența și unicitatea vectorului propriu dominant $\mathbf{p}$ – cunoscut sub denumirea de **PageRank**.

PageRank: Vectorul Propriu Dominant

În centrul modelului PageRank se află rezolvarea ecuației de tip vector propriu: $\mathbf{p}^T G = \mathbf{p}^T$, unde $\mathbf{p}$ reprezintă vectorul propriu asociat valorii proprii $\lambda = 1$ a matricei Google G , normalizat astfel încât $\|\mathbf{p}\|_1 = \sum_i \mathbf{p}_i = 1$. Această formulare asigură interpretarea probabilistică a componentei $\mathbf{p}$, ca fiind probabilitatea staționară ca un utilizator, într-un model idealizat de navigare infinită și fără memorie, să se afle pe pagina i .

Astfel, $\mathbf{p}$ transcende simpla clasificare cantitativă și oferă o măsură obiectivă a importanței structurale a fiecărei pagini în rețeaua web, independent de conținutul său semantic.

Metoda Puterii pentru calculul PageRank

Determinarea numerică a vectorului $\mathbf{p}$ se realizează, în mode standard, prin aplicarea metodei puterii [4], un algoritm iterativ minimalist și eficient, adaptat structurii specifice a matricei rare G . Schema recursivă poate fi formulată astfel: $\mathbf{x}^{(k+1)} = G^T \mathbf{x}^{(k)}$, unde:

- $\mathbf{x}^{(0)}$ este o aproximare inițială, adesea aleasă ca vector uniform,
- $\mathbf{x}^{(k)}$ tinde către $\mathbf{p}$ pe măsură ce $k \rightarrow \infty$.

Procesul de convergență este liniar și guvernat de factorul α din definiția matricei Google, iar rata de reducere a erorii la fiecare pas iterativ poate fi estimată prin inegalitatea:

$$\|\mathbf{x}^{(k)} - \mathbf{p}\|_1 \leq \alpha^k \|\mathbf{x}^{(0)} - \mathbf{p}\|_1.$$

Această relație evidențiază un compromis fundamental între rapiditatea convergenței și stabilitate numerică: valori ale lui α apropiate de 1 (precum este standardul 0.85) reflectă mai fidel structura reală a web-ului, dar încetinesc procesul de convergență.

Avantajele și limitările Metodei Puterii

Metoda puterii se remarcă printr-o serie de calități matematice și computaționale care o fac deosebit de potrivită pentru rețele de dimensiuni astronomice:

- necesită o implementare algoritmică simplă, cu reguli clare de actualizare;
- exploatează eficient caracterul rar (*sparse*) al matricei G , reducând dramatic costurile de calcul pe termen scurt;
- solicită un volum minim de memorie, lucrând doar cu vectori și evitând stocarea explicită a matricei dense;
- manifestă stabilitate numerică remarcabilă, eliminând riscul de *overflow* sau alte anomalii aritmetice în timpul procesului de iterație.

Totuși, această metodă, deși elegantă în simplitatea sa, suferă de o limitare notabilă: în cazul rețelelor de scară globală, cum este graful web, numărul de iterații necesare pentru obținerea unei soluții cu acuratețe satisfăcătoare poate deveni considerabil, fapt ce impune fie accelerarea convergenței prin tehnici suplimentare, fie utilizarea unor metode alternative, precum cele bazate pe Krylov sau metodele de agregare și dezagregare.

Stabilitatea Ordinală a PageRank-lui și Sensibilitatea la perturbații

O dificultate esențială în calculul PageRank constă în stabilitatea ordinii elementelor în prezența erorilor numerice — aspect adesea neglijat în analiza convențională a convergenței. Deși convergența aproximării $\mathbf{x}^{(k)}$ către soluția exactă $\mathbf{p}$ poate fi formalizată prin normele uzuale (de exemplu $\|\mathbf{x}^{(k)} - \mathbf{p}\|_1$), acesta nu oferă, în mod direct, garanții asupra stabilității ordinii elementelor. În practică, un criteriu ordinal simplu, dar robust este adesea mult mai relevant: *dacă pentru două componente distincte se verifică $x_i > x_j + \beta$ pentru o limită superioară a erorii de aproximare β , atunci putem afirma cu certitudine că $\mathbf{p}_i > \mathbf{p}_j$.*

Cu siguranță, acest principiu are aplicații directe în:

- validarea stabilității clasamentelor de tip top-k, chiar înainte ca vectorul $x^{(k)}$ să atingă convergența numerică deplină;
- determinarea parțială a ordinii relative a paginilor web, oferind criterii riguroase pentru selecții robuste în sisteme de căutare, recomandare sau filtrare.

Mai mult, stabilitatea PageRank-ului nu este influențată doar de erorile numerice, ci și de variațiile parametrilor de model. Analiza teoretică demonstrează că sensibilitatea vectorului PageRank față de perturbările în matricea S , vectorul de personalizare v și factorul de amortizare α este guvernată de valoarea lui α [5]. Mai detaliat, pentru valori mari ale factorului de amortizare, modelul devine mai „memorativ” și mai sensibil la structura hyperlink-urilor, pe când pentru valori mici predomină influența vectorului de personalizare v . O concluzie remarcabilă rezultată din teoria perturbațiilor aplicată lanțurilor Markov este faptul că, în ciuda acestei dependențe de S , v și α , vectorul PageRank se dovedește relativ insensibil la perturbații directe ale matricei G . Matematic, problema vectorului propriu asociat matricei Google: $p^T G = p^T$, $\|p\|_1 = 1$, este echivalentă unui sistem liniar de forma $p^T (I - \alpha S) = (1 - \alpha) v^T$, unde $I - \alpha S$ este o M -matrice strict diagonal dominantă pe linii, ceea ce asigură stabilitatea soluției [6].

Aceste observații au fost susținute și validate riguros în literatura de specialitate, iar simplitatea și claritatea demonstrațiilor, în special în ceea ce privește exploatarea structurii particulare a matricei Google, subliniază eleganța matematică a model aplicat la scară globală.

Implementarea Computațională a Algoritmului PageRank

Ulterior fundamentării teoretice, urmează transpunerea algoritmului PageRank într-un cadru computațional riguros. Din perspectivă numerică, se disting două metode esențiale pentru determinarea vectorului PageRank: *descompunerea spectrală și metoda iterativă a puterii*. Deși diferă în ceea ce privește eficiența și complexitatea computațională, ambele se bazează pe același principiu fundamental — rezolvarea problemei valorii proprii asociate matricei Google. Etapa preliminară în procesul de implementare constă în construirea explicită a acestei matrice pentru un graf orientat dat, luând în considerare prezența nodurilor absorbante și a componentelor deconectate, conform funcției Python prezentate în continuare.

```
import networkx as nx
import numpy as np
def get_google_matrix(G, d=0.15):
    A = nx.to_numpy_array(G).T
    n = A.shape[0]
    sink = A.sum(0) == 0
    A[:, sink] = ((np.ones((n, n)) - np.eye(n)) / (n - 1))[:, sink]
    M = A @ np.diag(1 / A.sum(0))
    return (1 - d) * M + d / n
```

Descompunerea spectrală a matricei G , unde vectorul PageRank p corespunde valorii proprii $\lambda = 1$ și se normalizează folosind norma L_1 . Metoda, deși riguroasă, devine inefficientă pentru grafuri mari, având complexitate $O(n^3)$.

```
def pagerank_edc(G, d=0.15):
    v = np.linalg.eig(get_google_matrix(G, d))[1][:, -1].real
    return v / np.abs(v).sum()
```

Alternativa mai eficientă și mai scalabilă este metoda puterii, care, pornind de la o distribuție uniformă $v^{(0)}$, multiplică iterativ matricea G până la atingerea unui prag de convergență: $x^{(k+1)} = G^T x^{(k)}$. Această metodă are o complexitate: $O(n^2)$ pentru implementarea

standard, și se poate reduce la $O(n)$ prin exploatarea caracterului „sparse” al matricei de tranziție.

```
def pagerank_power(G, d=0.15, max_iter=100, eps=1e-9):
    M = get_google_matrix(G, d)
    V = np.ones(G.number_of_nodes()) / G.number_of_nodes()
    for _ in range(max_iter):
        V_new = M @ V
        if np.linalg.norm(V_new - V) < eps: return V_new
        V = V_new
    return V
```

Pentru validarea teoretică, s-a utilizat o rețea sintetică generată prin modelul Barabási–Albert, adaptată pentru a reflecta topologia web prin orientare și eliminarea aleatorie a unor muchii, asigurând un cadru relevant de testare.

Rezultatele experimentale reflectate în Fig. 2 și Fig. 3 confirmă că:

- metoda puterii devine net mai eficientă odată cu creșterea dimensiunii grafului;

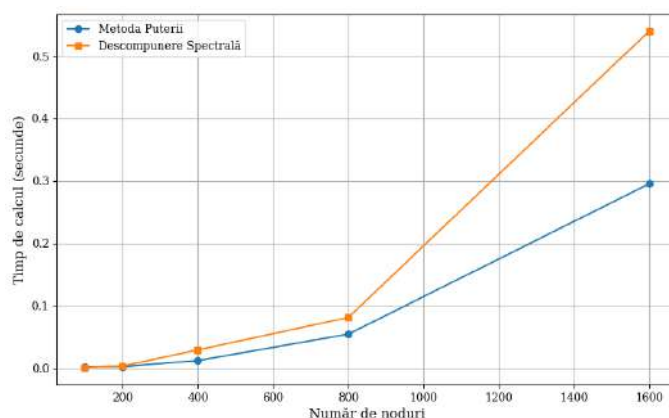


Figura 2. Compararea timpului de calcul: Metoda Puterii vs Descompunerea Spectrală

- rata de convergență este strâns legată de mărimea subdominantă spectrală $|\lambda_2|$.

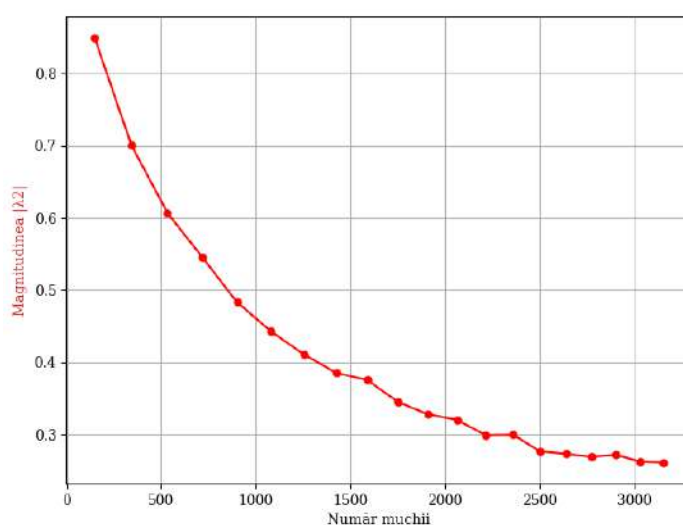


Figura 3. Relația dintre $|\lambda_2|$ și numărul de muchii

Aceste observații susțin riguros predicțiile teoretice: pe măsură ce factorul m al modelului Barabási–Albert crește, $|\lambda_2|$ scade, accelerând convergența metodei puterii.

Concluzii

În final, algoritmul PageRank rămâne un exemplu emblematic de sinteză între teoria grafurilor, algebra liniară și analiza numerică — o demonstrație clară a modului în care conceptele abstracte din matematică pot fi transformate într-un instrument computațional de impact global. Prin modelarea rețelei web ca un graf orientat, convertirea acesteia într-o matrice stocastică și, ulterior, într-o matrice Google care elimină blocajele structurale și garantează stabilitatea matematică, algoritmul atinge o soluție elegantă și eficientă pentru o problemă complexă de ordonare: ierarhizarea obiectivă a miliarde de pagini web.

Totuși, este important de subliniat că PageRank nu este singurul algoritm de clasificare — în timp, au fost dezvoltate și alte metode, precum *algoritmi bazați pe învățare automată, analiza semnificației semantice sau interacțiunile sociale ale utilizatorilor*, care răspund unor nevoi complementare sau chiar superioare în anumite contexte.

Cu toate acestea, PageRank s-a impus ca un model universal pentru problemele de centralitate și relevanță în rețele complexe, dovedindu-și aplicabilitatea dincolo de sfera informaticii — în bioinformatică, economie, rețele sociale și chiar în analiza fluxurilor de date din sistemele fizice și sociale. Astfel, PageRank ilustrează nu doar eficiența, ci și versatilitatea matematicii aplicate.

Bibliografie

1. BRIN, S. Lawrence Page. *The anatomy of a large-scale hypertextual Web search engine*. [Computer Networks and ISDN Systems](#), vol. 30, nr. 1–7, pp. 107-117, aprilie 1998. Disponibil online: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016975529800110X>. [Accesat la 19.04.2025].
2. Universitatea Stanford. *Algoritmul Google PageRank*. Disponibil online: <https://web.stanford.edu/class/cs54n/handouts/24-GooglePageRankAlgorithm.pdf> [Accesat la 20.04.2025].
3. IPSEN, I. *Metoda puterii și convergența la vectori proprii*. Disponibil online: <https://ipsen.math.ncsu.edu/ps/cedya.pdf> [Accesat la 21.04.2025].
4. MORARU, V. *Metode numerice. Manual*. Chișinău: Editura Tehnica -UTM, 2024, 270 p. ISBN 978-9975-64-403-7.
5. LANGVILLE, A. N.; M\$EYER, C. D. (2006). *Google's PageRank and Beyond: The Science of Search Engine Rankings*. Princeton University Press, 2012, 240 p. ISBN:9780691152660
6. MACHADO, T.; YASAKI, I. Proiect despre Google PageRank și algebra liniară. Disponibil online: <https://math-sites.uncg.edu/sites/yasaki/publications/machado-google-pagerank-linear-algebra-project.pdf> [Accesat la 21.04.2025].

SISTEM DEDICAT DE CONTROL ÎN BAZA LOGICII FUZZY PENTRU ACHIZIȚIA, PROCESAREA ȘI PREZENTAREA DATELOR

Mihai BRUMĂ, Pavel LEȘAN, Andrei SPATARI*, Vladina TUTUNARU,

Departamentul Informatică și Ingineria Sistemelor, grupa CRI-241M, Facultatea Calculatoare, Informatică și
Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova.

*Autorul corespondent: Andrei Spatari, andrei.spatari@iis.utm.md

Îndrumătorii/coordonatorii științifici: **Victor ABABII**, conferențiar universitar, doctor,
Departamentul Informatică și Ingineria Sistemelor, Chișinău, Republica Moldova.

Silvia MUNTEANU, lector universitar, Departamentul Informatică
și Ingineria Sistemelor, Chișinău, Republica Moldova

Rezumat. *Lucrarea de față prezintă rezultatele proiectării unui Sistem Dedicat de Control bazat pe logica Fuzzy. Acesta are ca scop colectarea datelor de la mai mulți senzori conectați la diferite module de microcontrollere distribuite în spațiu care au conexiune wireless cu un nod principal, care și procesează datele colectate și transmite un răspuns către modulele conectate la el, toate datele fiind afișate pe o interfață grafică. Astfel, în lucrarea respectivă sunt prezentate arhitectura hardware al întregului sistem, procedeul de conectare al modulele către nodul principal și schimbul de informații între ele, algoritmul de procesare și stocare al datelor și structura sistemului de prezentare al datelor stocate și procesate.*

Cuvinte cheie: *Raspberry Pi, microcontrollere, Wi-Fi, HTTP, sistem de procesare, sistem de achiziție și prezentare a datelor.*

Introducere

Inteligența artificială (IA) a devenit o tehnologie esențială, cu un impact major în diverse domenii, de la asistenți virtuali și diagnosticare medicală, până la sisteme autonome [1]. În contextul Internetului Lucrurilor (IoT), IA joacă un rol crucial în transformarea datelor brute colectate de dispozitive în informații utile [2]. Astfel, în fabricile și orașele inteligente, IA contribuie la anticiparea defecțiunilor, optimizarea consumului de energie, gestionarea traficului și creșterea siguranței.

Combinăția dintre inteligența artificială (IA) și Internetul Lucrurilor (IoT) promite sisteme mai eficiente și autonome, capabile să răspundă adaptiv provocărilor globale, de la sustenabilitate la securitate. În acest context, logica Fuzzy joacă un rol important, oferind un mod flexibil de luare a deciziilor în condiții de incertitudine, prin utilizarea valorilor intermediare între 0 și 1, spre deosebire de logica binară tradițională, și imitând modul în care oamenii procesează informațiile incomplete [3].

Formularea problemei

Odată cu evoluția domeniului IT și în special al sistemelor smart, volumul de date care trebuie colectat, analizat și prelucrat a crescut considerabil. Una dintre problemele acestor sisteme este colectarea centralizată a datelor, deoarece, deseori, modulele ce se ocupă cu sarcina respectivă pot fi amplasate la distanțe destul de mari unul de celălalt, sau într-o zonă greu accesibilă față de modulul de procesare [3]. O altă problemă al acestor sisteme este însăși procesarea datelor și prezentarea rezultatelor procesării. Procedura respectivă trebuie să ofere un răspuns în timp util.

Metode și Modele

După cum a fost menționat anterior, Logica Fuzzy a început pe larg să fie aplicată în diverse domenii, în special în domeniul IoT, datorită avantajelor majore pe care le oferă. Astfel, în următoarele paragrafe sunt prezentate câteva cercetări și proiecte din diverse domenii în care algoritmul de procesare și luare al deciziilor este bazat pe logica Fuzzy.

Integrarea logicii fuzzy în sistemele smart home îmbunătățește automatizarea și eficiența energetică. Studiul [4] descrie un sistem bazat pe ESP32 care ajustează iluminatul și aerul condiționat în funcție de datele senzorilor, iar [5] propune un sistem de management energetic care optimizează consumul. De asemenea, în [6], un sistem de securitate pentru case inteligente folosește logica fuzzy pentru detectarea intruziunilor și monitorizarea mediului intern.

În agricultură și monitorizarea mediului, logica fuzzy contribuie la optimizarea resurselor. Lucrarea [7] descrie un sistem de irigație controlat prin FPGA pentru sere, iar [8] prezintă o seră inteligentă cu control automatizat al mediului prin Arduino Nano. Studiul [9] aplică aceeași abordare pentru optimizarea creșterii ciupercilor, folosind ESP8266 și Arduino Uno.

Rezultate și Discuții

Scopul principal al proiectului este proiectarea, programarea și simularea unui Sistem Dedicat de Control bazat pe logica Fuzzy. Acesta colectează date de la senzori conectați la module ESP, le trimite prin Wi-Fi către un Raspberry Pi pentru procesare, iar rezultatele sunt retransmise către ESP-uri pentru a acționa diverși actuatori. Toate informațiile sunt afișate printr-o interfață grafică.

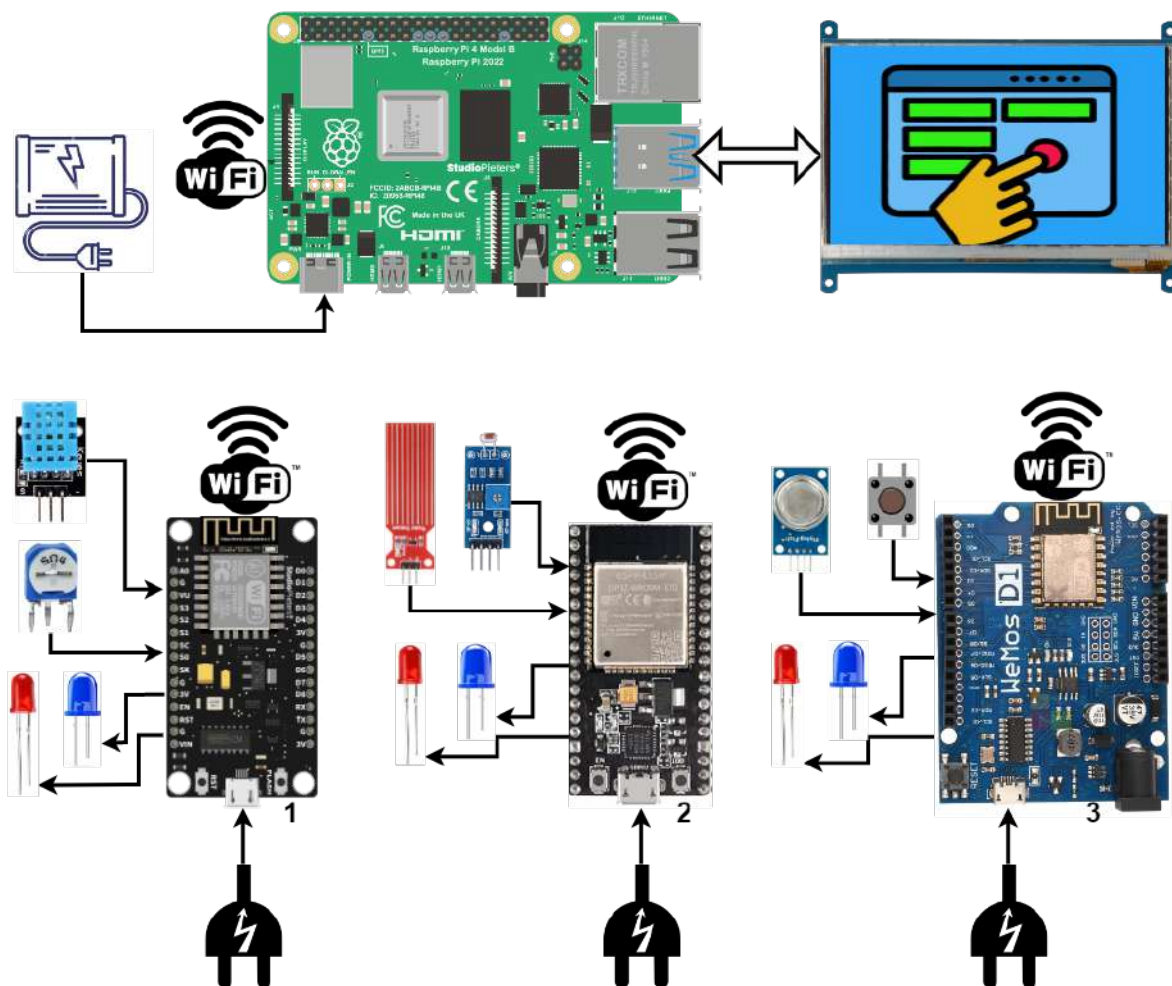


Figura 1. Schema de structură al Sistemului Dedicat de Control

Conform Fig. 1 de mai sus, putem observa că structura sistemului conține 3 module de colectare al datelor distribuite în spațiu. Acestea au la bază un microcontroller (ESP8266, ESP32 sau WeMos D1 R2) dotat cu 2 intrări (analogică și digitală) și 2 ieșiri (analogică și digitală). Sistemul mai include un modul central de procesare și prezentare a datelor ce constă dintr-un Raspberry Pi 4B care primește datele prin Wi-Fi de la modulele ESP și le procesează cu ajutorul logicii Fuzzy. Acest nod dispune și de un ecran de 7 inch pentru afișarea interfeței grafice.

Algoritmul de funcționare al acestor module urmează pașii: inițial se conectează la rețea (Raspberry Pi), colectează date de la senzori și le trimite prin Wi-Fi pentru procesare. Apoi verifică dacă au primit un mesaj, iar dacă da, folosesc informațiile primite pentru a controla actuatorii conectați. Comunicarea cu Raspberry Pi are loc la intervale regulate, pentru a permite procesarea și răspunsul adecvat.

Pentru transmiterea datelor a fost ales standardul IEEE 802.11 (Wi-Fi), care, spre deosebire de IEEE 802.15.1 (Bluetooth), este orientat pe rețelistică și permite folosirea protocoalelor precum HTTP.

Lansarea sistemului începe cu conectarea Raspberry Pi la rețea care se poate realiza fie prin Wi-Fi, fie prin cablu Ethernet, după care urmează pornirea serverului Python. La inițializare, acesta afișează în consolă adresa IP și portul la care este disponibil pentru dispozitivele de achiziție. În continuare, dispozitivele de achiziție, la pornire, creează automat un punct de acces propriu, precum și un server web local. Utilizatorul trebuie să se conecteze la acest punct de acces introducând adresa 192.168.4.1. În cadrul paginii HTML generate de dispozitivul de achiziție, sunt introduse informațiile rețelei Wi-Fi și adresa IP a serverului, acest lucru fiind prezentat în Fig. 2 de mai jos.



Figura 2. Interfața pentru adăugarea dispozitivului în sistemul de achiziție

Subsistemul Data Management și Procesare Fuzzy, prezentat în Fig. 3 de mai jos, este realizat software folosind micro-framework-ul Flask. Acesta primește, stochează, procesează și returnează date de la trei dispozitive ESP32. Inițial, este definit un dicționar numit *dataset* ce conține valorile senzorilor pentru fiecare ESP: esp1 (temperatură, umiditate, potențiometrul), esp2 (fotorezistor, nivel apă) și esp3 (nivel gaz, buton). Informațiile sunt actualizate constant printr-un proces ETL dinamic. Sunt implementate rute specifice, precum */receive*, care primește date prin HTTP POST/GET, identifică ESP-ul și actualizează datele în funcție de acestea, gestionând și eventualele erori.

Ruta */get_data* oferă acces la datele curente în format JSON, util pentru dashboarduri sau depanare, iar ruta */fuzzy* aplică reguli logice predefinite asupra valorilor senzorilor, generând acțiuni simulate (deschiderea geamului, pornirea ventilatorului etc.) în funcție de condiții specifice. Rezultatul este un șir codificat (ex: "1/250/0/180/0/0") salvat într-o variabilă globală și returnat cu mesaje explicative. În final, ruta */message* returnează simplu acest rezultat fuzzy sub formă de text JSON, pentru a fi accesibil de interfața web sau alte componente.

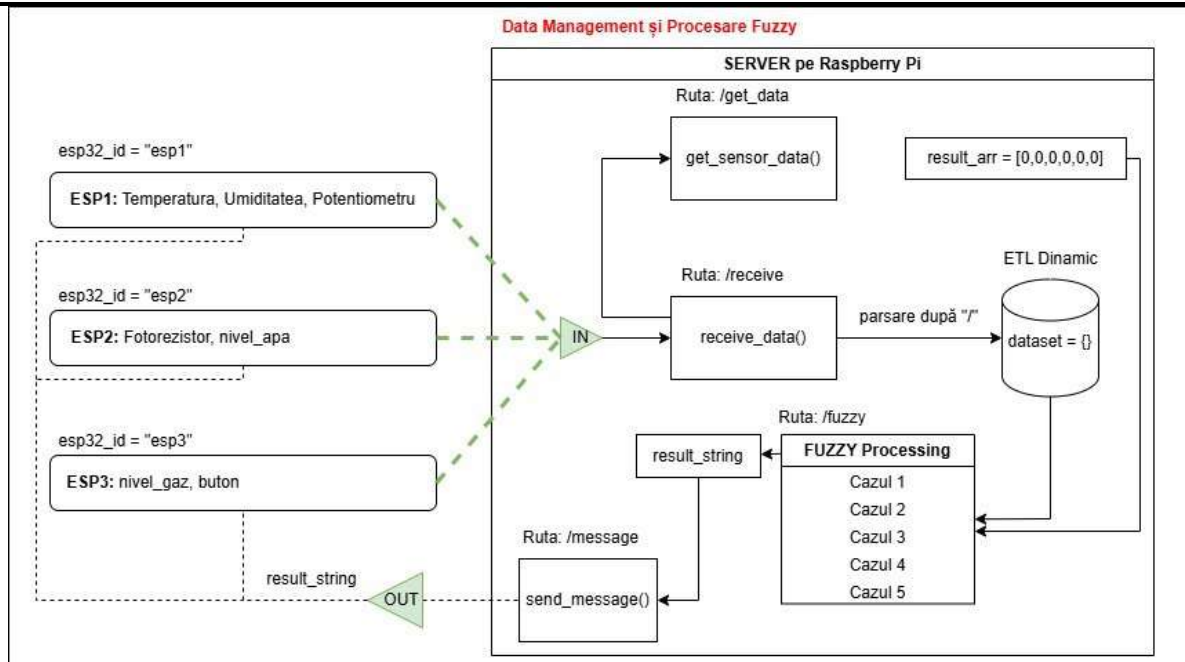


Figura 3. Subsistemul Data Management și Procesare Fuzzy

Pentru afișarea datelor colectate și a rezultatelor procesării a fost realizată o interfață grafică, prezentată în Fig. 4 de mai jos, care include și o pagină de logare pentru accesul utilizatorului sau administratorului.

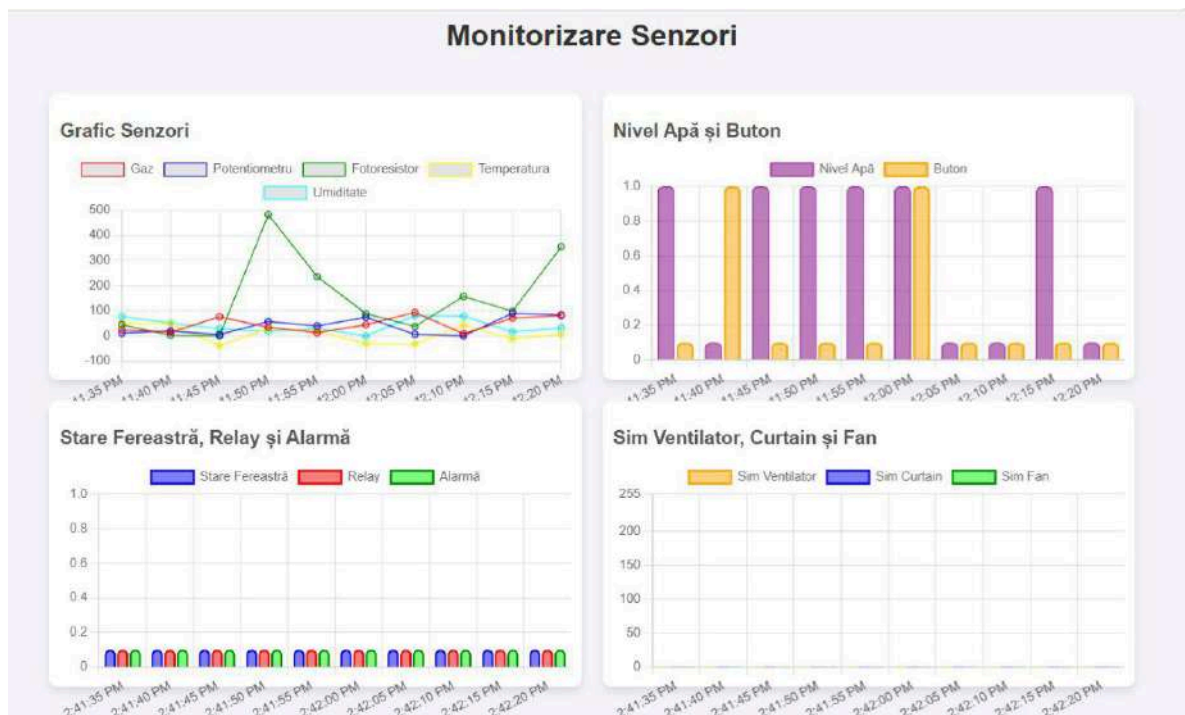


Figura 4. Interfața grafică de prezentare al datelor și rezultatelor

După autentificare, utilizatorul vizualizează patru grafice intuitive, ce pot fi ușor modificate, un avantaj important al proiectului.

Fluxul datelor în interfață este:

1. Utilizatorul se autentifică în interfața web.
2. Pagina trimite cereri către ruta /data pentru a obține valorile senzorilor.

3. Serverul Flask răspunde cu un JSON conținând aceste date.
4. Pagina prelucrează și afișează informațiile sub formă de grafice și alerte.

Concluzii

Proiectul a demonstrat implementarea cu succes a unui Sistem Dedicat de Control bazat pe logica Fuzzy, capabil să rezolve problemele analizate și să ofere avantaje clare față de alte soluții existente. Cel mai important beneficiu este modularitatea sistemului, care permite adăugarea ușoară de noi module fără a afecta funcționarea celor existente. Această flexibilitate se reflectă și în interfața grafică simplă și intuitivă, compusă din patru grafice ce nu necesită modificări majore la extindere. În plus, utilizarea logicii Fuzzy permite generarea și gestionarea unui număr mare de cazuri fără a compromite stabilitatea sistemului, iar extinderea conectivității prin GPRS sau Bluetooth oferă un potențial crescut pentru comunicare pe distanțe mai mari.

Referințe

1. MUNTEANU, S.; SUDACEVSCHI, V.; ABABII, V.; BOROZAN, O.; ABABII, C.; LASCO, V. „Multi-Agent Decision Making System based on Membrane Computing”, în *2021 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)*, Cracow, Poland: IEEE, sep. 2021, pp. 851–854. doi: [10.1109/IDAACS53288.2021.9660971](https://doi.org/10.1109/IDAACS53288.2021.9660971).
2. ABABII, V.; SUDACEVSCHI, V.; TURCAN, A.; MELNIC, R.; CARBUNE, V.; COJUHARI, I. „Multi-Objective Decision Making System Based on Spatial -Temporal Logics”. în *2023 24th International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS)*, Bucharest, Romania: IEEE, mai 2023, pp. 6–10. doi: [10.1109/CSCS59211.2023.00010](https://doi.org/10.1109/CSCS59211.2023.00010).
3. ABABII, V.; SUDACEVSCHI, V.; ALEXEI, V.; MELNIC, R.; BORDIAN, D.; NISTIRIUC, A. „Fuzzy Sensor Network for Mobile Robots Navigation”. în *2019 International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN)*, Craiova, Romania: IEEE, oct. 2019, pp. 1–4. doi: [10.1109/SIELMEN.2019.8905829](https://doi.org/10.1109/SIELMEN.2019.8905829).
4. DEDY IRAWAN, J.; PRIYASMANU, T.; RENALDI, P.P.; ACHMADI, S. „IOT IMPLEMENTATION IN SMART BUILDING USING THE FUZZY METHOD”. *IJCOMIT*, dec. 2024, vol. 1, nr. 2, pp. 71–78, doi: [10.36040/ijcomit.v1i2.12151](https://doi.org/10.36040/ijcomit.v1i2.12151).
5. IMAMGULUYEV, R.; IMANOVA, T.; NABIYEVA, C.; POLADOVA, U.; AMIROVA, R. „Fuzzy logic-based energy management in IoT-Enabled buildings”. *E3S Web Conf.*, 2024, vol. 501, p. 01009, doi: [10.1051/e3sconf/202450101009](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202450101009).
6. SHUKLA, A.; SAHU, P. „Design of Smart Home Security System Using Fuzzy Logic Based Internet of Things”. *IJISSET - International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, sep. 2018 vol. 5, nr. 9, pp. 154-169.
7. CASTAÑEDA-MIRANDA, R.; VENTURA-RAMOS, E.; DEL ROCÍO PENICHE-VERA, R.; HERRERA-RUIZ, G. „Fuzzy Greenhouse Climate Control System based on a Field Programmable Gate Array”. *Biosystems Engineering*, iun. 2006, vol. 94, nr. 2, pp. 165–177, doi: [10.1016/j.biosystemseng.2006.02.012](https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.02.012).
8. THOMOPOULOS, V.; TOLIS, F.; BLOUNAS, T.-F.; TSIPIANITIS, D.; KAVGA, A. „Application of Fuzzy logic and IoT in a small-scale Smart Greenhouse System”, *Smart Agricultural Technology*, aug. 2024, vol. 8, p. 100446, doi: [10.1016/j.atech.2024.100446](https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100446).
9. IRWANTO F. et al., „IoT and fuzzy logic integration for improved substrate environment management in mushroom cultivation”. *Smart Agricultural Technology*, mar. 2024, vol. 7, p. 100427, doi: [10.1016/j.atech.2024.100427](https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100427).

ANALYSE STATISTIQUE DE L'UNIFORMITÉ : RANDOM.ORG VERSUS CLASSIC PRNG-URIs

Valentina ASTAFI

*Département de Génie Logiciel et d'automatisation, groupe TI-231M, Faculté Ordinateurs, d'Informatique et de
Microélectronique, Université Technique de Moldavie, Chisinau, République de Moldavie*

Auteur correspondant : Astafi Valentina, valentina.astafi@isa.utm.md

Coordinateur scientifique : **Alexei LEAHU**, PhD, Prof., UTM

Résumé. *L'article examine le degré d'uniformité des distributions de nombres générés par le service Random.org, basé sur une source d'aléa authentique, en comparaison avec les générateurs pseudo-aléatoires classiques (PRNG) utilisés dans divers langages de programmation tels que Java, Python et R. L'objectif principal de l'étude est d'évaluer les écarts de conformité par rapport au modèle théorique de la distribution uniforme, en utilisant des analyses et tests statistiques rigoureux. La méthodologie d'évaluation comprend l'application du test du chi-deux pour ajuster les distributions, la détermination du coefficient de corrélation de Pearson pour identifier les dépendances internes et l'analyse du niveau d'entropie pour estimer le caractère aléatoire des séquences. Cette étude souligne l'importance de sélectionner des sources d'aléa appropriées dans les processus de simulation statistique, en particulier pour les applications nécessitant un haut degré d'authenticité de l'aléatoire.*

Mots-clés: *distribution uniforme, générateurs pseudo-aléatoires, Random.org, simulation, tests statistiques.*

Introduction

Les simulations numériques impliquant des événements aléatoires dépendent directement de la qualité des générateurs de nombres utilisés. La distribution uniforme constitue la base de nombreux algorithmes de simulation et de modélisation statistique. Dans ce contexte, les nombres aléatoires générés doivent se rapprocher le plus possible d'un hasard idéal, tant en termes d'uniformité des valeurs que d'absence de corrélations entre celles-ci. L'objectif de cette étude est de réaliser une analyse comparative entre Random.org et trois PRNG classiques, en appliquant des méthodes statistiques rigoureuses afin d'évaluer leur conformité à la distribution uniforme théorique [1]. L'accent est mis non seulement sur l'identification des différences entre ces deux types de sources, mais aussi sur leur impact potentiel sur la fiabilité des résultats dans les applications probabilistes.

Sources de hasard : Random.org et générateurs pseudo-aléatoires classiques

Dans les processus de simulation et de modélisation statistique, la qualité du générateur de nombres aléatoires influe directement sur la validité des résultats obtenus. Les générateurs de nombres aléatoires se divisent, en essence, en deux grandes catégories : les générateurs d'aléa véritable (TRNG – True Random Number Generators) et les générateurs d'aléa simulé ou déterministe (PRNG – Pseudo Random Number Generators).

Random.org est un service TRNG basé sur le bruit atmosphérique capté par des équipements radio [1], une source naturelle d'imprévisibilité. Les valeurs générées sont issues de mesures physiques, donc indépendantes et non reproductibles – des atouts essentiels pour les simulations exigeant un hasard authentique [2].

À l'inverse, les PRNG sont des algorithmes déterministes produisant des séquences apparemment aléatoires, définies par un état initial (*seed*) [3]. Cette étude analyse notamment : *java.util.Random* (Java), *random()* (Python) et *runif()* (R).

Les PRNG utilisent des formules récursives pour générer des séquences imitant une distribution uniforme. Bien qu'efficaces pour des usages courants, ils peuvent présenter de légères déviations. Les TRNG garantissent un hasard authentique, tandis que les PRNG offrent rapidité et reproductibilité. Le choix dépend des besoins : précision maximale pour les simulations scientifiques (TRNG) ou performance contrôlée (PRNG) [4]. D'où l'intérêt d'une analyse comparative.

Méthodologie de simulation et de génération des données

Afin d'évaluer de manière comparative la qualité des sources de hasard analysées, il a été nécessaire de générer un échantillon de données numériques continues dans l'intervalle $[0, 1]$, de taille suffisante pour garantir une précision statistique élevée. La détermination du volume de données requis, noté N , pour valider statistiquement les distributions étudiées, a été réalisée à l'aide d'une estimation théorique fondée sur la précision souhaitée ϵ et le niveau de confiance, selon le théorème de la limite centrale [5]. La formule utilisée est la Éq. (1) :

$$N = \left[\left(\frac{z \cdot \sigma}{\epsilon} \right)^2 \right] + 1 \quad (1)$$

où : N est le nombre minimal de simulations nécessaires, z - quantile associé à la loi normale standard pour le niveau de confiance souhaité ($z=1,96$ pour 95 %), σ est l'écart-type de la population, ϵ est la précision désirée, la distance maximale admise par rapport à la valeur réelle ($\epsilon = 0,005$) [5]. Il en résulte que $N \approx 12807$, donc pour chaque source analysée, des échantillons de valeurs ont été générés pour être considérés comme suffisants pour la validation statistique de la distribution uniforme. Pour tester les applications, des fichiers .csv contenant les nombres pseudo-aléatoires ont été générés (Fig. 1), ce qui permet d'évaluer la conformité de ces ensembles de données avec un modèle théorique de distribution uniforme.



Figure 1. Génération des nombres et enregistrement des ensembles de données simulées

Les valeurs générées ont été sauvegardées dans des fichiers CSV à une seule colonne, sans en-tête, et ont été utilisées directement dans les traitements ultérieurs sans aucun prétraitement, filtrage ou transformation, garantissant ainsi une comparabilité totale entre les ensembles de données.

Méthodologie d'évaluation (application des tests statistiques)

L'objectif de l'évaluation est de déterminer dans quelle mesure les distributions générées par les quatre sources de données (Java, Python, R, Random.org) respectent le modèle théorique d'une distribution uniforme idéale, en termes de *dispersion des valeurs*, *d'indépendance statistique* et de *niveau d'aléa informationnel*. Pour cette évaluation, les méthodes statistiques suivantes ont été appliquées, chacune ciblant un aspect complémentaire de la distribution : le *test du Chi-carré*, le *coefficient de corrélation de Pearson* et l'*entropie de Shannon*.

Le *test du Chi-carré* (χ^2) permet d'évaluer la conformité d'une distribution empirique avec une distribution uniforme théorique. Il est utilisé pour vérifier si les fréquences observées

des valeurs, regroupées en classes d'amplitude égale, s'alignent sur celles attendues selon une loi uniforme, ou s'il existe un écart systématique [4]. L'hypothèse nulle (H_0) suppose que la distribution observée *ne diffère pas significativement* de la distribution théorique [6]. La formule générale permettant de calculer la statistique de ce test est donnée par la Éq. (2) :

$$\chi^2 = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2)$$

où O_i représente les fréquences observées pour chaque catégorie, et E_i les fréquences attendues calculées sur la base du modèle théorique. Dans le test du Chi-carré, l'ensemble critique regroupe les valeurs pour lesquelles l'hypothèse nulle H_0 est rejetée, en fonction du niveau de signification α et des degrés de liberté ($k-1$). Avec deux classes ($\{0,1\}$), cela donne 1 degré de liberté et un seuil critique à 30.14. L'ensemble d'acceptation est donc $[0, 30.14)$. Les fréquences observées, regroupées par classe pour chaque ensemble de données, sont comparées aux fréquences théoriques calculées. Les résultats (Fig. 2) révèlent des écarts variables entre les générateurs face à la distribution uniforme.

```
Java_numbers.csv →  $\chi^2 = 0.11$ , p = 0.7437
Python_numbers.csv →  $\chi^2 = 0.46$ , p = 0.4962
R_numbers.csv →  $\chi^2 = 1.47$ , p = 0.2261
Random.org_numbers.csv →  $\chi^2 = 4.24$ , p = 0.0395
```

Figure 2. Résultats du test statistique du Chi-carré

Une valeur $p > 0.05$ confirme l'uniformité statistique, comme observé pour Java, Python et R. En revanche, Random.org ayant $p < 0.05$, l'hypothèse d'uniformité est rejetée, indiquant une déviation significative de la distribution théorique.

Le coefficient de corrélation de Pearson (r) mesure la relation linéaire entre deux variables. Il varie de -1 (corrélation négative parfaite) à $+1$ (corrélation positive parfaite), 0 indiquant l'absence de lien linéaire. Il est défini par Éq. (3) :

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

où x_i et y_i sont les valeurs individuelles des deux variables, $\bar{x}$ représente la moyenne arithmétique de la variable x , $\bar{y}$ celle de la variable y , n est le nombre de paires de données [7].

Le calcul du coefficient nécessite les moyennes des variables, la soustraction de ces moyennes, le produit des écarts, puis la division par le produit des racines carrées des sommes des carrés

```
Java_numbers.csv → Coefficient Pearson = -0.0072
Python_numbers.csv → Coefficient Pearson = 0.0056
R_numbers.csv → Coefficient Pearson = 0.0039
Random.org_numbers.csv → Coefficient Pearson = -0.0060
```

Figure 3. Coefficient de corrélation de Pearson

Les valeurs proches de zéro (Fig. 3) indiquent une indépendance statistique entre les données. Même si Random.org présente une légère déviation au test χ^2 , ses valeurs restent indépendantes et sans schéma, ce qui reflète le comportement naturel d'un aléa physique réel.

L'entropie est une mesure du hasard ou de l'incertitude dans un ensemble de données. Comparer l'entropie des données simulées avec celle de la distribution théorique permet de qualifier la qualité d'un générateur de nombres aléatoires [4]. Dans notre cas, l'entropie H d'une distribution discrète est calculée selon la Éq. (4) :

$$H = -\sum_{i=1}^n p_i \cdot \log_2(p_i) \quad (4)$$

où p_i représente la probabilité d'apparition de la valeur i dans l'ensemble de données, n est le nombre total de valeurs distinctes possibles et $\log_2$ désigne le logarithme en base 2, ce qui nous donne l'entropie exprimée en bits [7]. L'entropie maximale théorique est donnée par la Éq. (5) :

$$H = -\sum_{i=1}^2 \frac{1}{2} \cdot \log_2\left(\frac{1}{2}\right) = \log_2(2) \approx 1 \text{ bit} \quad (5)$$

Les quatre sources ont produit des ensembles de données avec une entropie extrêmement proche de la valeur maximale théorique de 1 bit (Fig. 4).

```
Java_numbers.csv → Entropie H = 1.0000 biți
Python_numbers.csv → Entropie H = 1.0000 biți
R_numbers.csv → Entropie H = 0.9999 biți
Random.org_numbers.csv → Entropie H = 0.9998 biți
```

Figure 4. Résultats du calcul de l'entropie pour chaque source de données

Les résultats confirment que toutes les sources testées présentent une forte dispersion de l'information, sans schémas détectables. L'entropie légèrement inférieure à 1 pour Random.org reflète le caractère naturel et non contraint d'une source d'aléa véritable.

Résultats expérimentaux et analyse

À la suite de l'application des tests statistiques sur les quatre sources de génération de nombres aléatoires, les résultats synthétisés dans le Tab. 1. Ces résultats reflètent le degré de conformité de chaque séquence avec la distribution uniforme théorique, le niveau d'entropie, ainsi que l'indépendance interne des valeurs.

Tableau 1

Résultats des tests statistiques pour chaque source analysée

Source	χ^2	p-valeur χ^2	Pearson r	Entropie H
Random.org	4.24	0.0395	-0.0060	0.9998
Java	0.11	0.7437	-0.0072	1.0000
Python	0.46	0.4962	0.0056	1.0000
R	1.47	0.2261	0.0039	0.9999

Le test du Chi-carré montre que Java, Python et R génèrent des distributions binaires conformes au modèle uniforme ($p > 0.05$). En revanche, Random.org affiche une valeur p de 0.0395, indiquant un écart significatif dû à la nature non contrainte de son aléa physique, et non à une erreur.

Le coefficient de Pearson est proche de zéro pour toutes les sources, confirmant l'absence de corrélation entre les valeurs successives, y compris pour Random.org.

L'entropie de Shannon est quasi maximale (≈ 1 bit) pour tous les cas, montrant une forte dispersion sans déséquilibres entre 0 et 1. Ainsi, les quatre sources génèrent des séquences binaires de qualité statistique élevée [3]. Les PRNG produisent une uniformité stable, tandis que Random.org reflète un hasard naturel fidèle à un TRNG.

Erreurs et limites méthodologiques

L'analyse des PRNG nécessite une estimation de l'erreur statistique afin de valider que l'échantillon reflète la distribution théorique. En utilisant la Éq. (6) :

$$2\varphi\left(\frac{\varepsilon\sqrt{N}}{\sqrt{\sigma}}\right) - 1 = \alpha \quad (6)$$

où φ représente la fonction de densité de probabilité de la distribution, ε est l'erreur acceptée, N est le nombre d'observations, σ est la dispersion théorique, et α est le coefficient ajustant l'erreur en fonction du niveau de confiance ($\alpha=1.96$ pour un intervalle de confiance de 95%). Cette formule permet d'estimer la probabilité que la distance entre l'échantillon de données et la moyenne théorique soit inférieure à un seuil donné. Pour évaluer la distance maximale entre l'échantillon et la moyenne théorique, on utilise la Éq. (7) :

$$\varepsilon = \frac{\Phi^{-1}\left(\frac{\alpha+1}{2}\right) \cdot \sqrt{\sigma}}{\sqrt{N}} = \frac{1.96 \cdot 0.2887}{\sqrt{12807}} = 0.005 \quad (7)$$

L'erreur calculée est donc de 0,005, ce qui indique que la distance entre les valeurs observées et la moyenne théorique reste en dessous du seuil de signification accepté. Dans un intervalle de confiance à 95 %, ce résultat confirme que la distribution de l'échantillon respecte les hypothèses théoriques et que les résultats obtenus sont valides sur le plan statistique.

L'analyse des résultats expérimentaux a nécessité la vérification de la distance entre les valeurs observées et la moyenne théorique supposée. Pour valider que cette distance reste dans des limites statistiquement acceptables, nous avons utilisé la Éq. (8) de probabilité suivante :

$$P(|\bar{x} - x_m| < \varepsilon) > 0.95 \quad (8)$$

où P -la probabilité ; $|\bar{x} - x_m|$ la valeur absolue de l'écart entre les valeurs de l'échantillon x et la moyenne théorique x_m ; ε l'erreur acceptée. On peut observer que la distance entre les valeurs de l'échantillon x et la moyenne $x_m = 0.5$ est inférieure à l'erreur calculée [3].

La distribution des valeurs observées reflète fidèlement la moyenne théorique supposée, ce qui valide les résultats de l'analyse et confirme que les données respectent les hypothèses statistiques formulées.

Conclusions

Cette étude a comparé Random.org à trois PRNG (Java, Python, R) en appliquant trois tests statistiques. Les PRNG offrent une distribution uniforme stable et prédictible, tandis que Random.org montre une légère déviation due à son caractère aléatoire réel. Les PRNG sont adaptés aux simulations répétables, tandis que Random.org est préférable pour les contextes nécessitant un hasard authentique comme la cryptographie ou les tirages officiels.

Références

1. „RANDOM.ORG - Statistical Analysis”. Date de consultation : 29 avril 2025. [En ligne]. Disponible : <https://www.random.org/analysis/>.
2. HAAHR, M. Introduction to Random.org. Random.org Whitepapers, 2007.
3. KNUTH, D. E. (1997). The Art of Computer Programming, Volume 2: Seminumerical Algorithms (3rd ed.). Addison-Wesley. ISBN 0-201-89684-2.
4. ASTAFI, V. Analiza gradului de concordanță a distribuției uniforme simulate pe calculator cu distribuția teoretică. Diss. Universitatea Tehnică a Moldovei, 2025.
5. KLIEGL DANIEL SCHAD, S.; AUDREY BÜRKI, REINHOLD, V. 2.2 The central limit theorem using simulation | Linear Mixed Models in Linguistics and Psychology: A Comprehensive Introduction. Date de consultation : 08 mai 2025. [En ligne]. Disponible : https://vasishth.github.io/Freq_CogSci/the-central-limit-theorem-using-simulation.html.
6. ASTAFI, V.; LEAHU, A. Analyse exploratoire du degré de concordance des données avec la distribution binomiale et géométrique simulée statistiquement en Python // Conferința tehnico-științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor. – 2024. – T. 2. – C. 943-948. Disponible : <http://repository.utm.md/handle/5014/28076>.
7. KOBZAR, A.I. Statistică matematică aplicată. Pentru ingineri și cercetători. Moscova, 2006.

THE IMPLEMENTATION OF LOGIC GATES IN QUANTUM COMPUTING

Dumitru VLEJU*

CR-242, Faculty of Computers Informatics and Microelectronics, Technical University of Moldova, Chișinău,
Republic of Moldova

*Corresponding author: Vleju Dumitru, dumitru.vleju@iis.utm.md

Îndrumătorul/coordonatorul științific: **Lilia MIHAIL-VELEȘCU**, university assistant, Department of
Foreign Languages, Faculty of Food Technology

Abstract: *Quantum Computing is currently at the cutting edge of technology and is likely the next big step in advancing the computer science field not only in boosting performance and computational power but also in expanding the possible use for computers for experimental purposes in quantum physics. Although quantum computers use a different process of determining the 0s and 1s (the spin of a particle), they still use 1s and 0s which makes them more easily adaptable to systems widely used today. In this paper we will explore the principles of quantum mechanics such as superposition, quantum entanglement, the Stern-Gerlach experiment and how classical computers work through which we will demonstrate how to construct a quantum circuits for the same purposes as classical computers and the possible challenges for implementation.*

Key words: *bit, logic gate, superposition, qbit, quantum mechanics.*

Introduction

Quantum mechanics, born in the early 20th century, revolutionized physics by explaining phenomena classical theories couldn't. Planck's quantum hypothesis (1900), Einstein's photoelectric effect (1905), Bohr's atomic model (1913), and de Broglie's wave-particle duality (1924) laid its foundation. Heisenberg's uncertainty principle (1927) and Schrödinger's wave mechanics emphasized its probabilistic nature, while quantum field theory unified it with relativity. Bell's theorem (1964) confirmed entanglement's nonlocality. Today, quantum mechanics enables technologies like quantum computing, which uses qubits to solve complex problems exponentially faster than classical computers. Quantum computing also advances quantum physics by simulating intricate quantum systems, such as molecules and quantum fields, offering insights into high-temperature superconductors, chemical reactions, and fundamental theories. This synergy between quantum computing and quantum mechanics promises to unlock new frontiers in science and technology.

This paper aims to explore and demonstrate the feasibility of integrating quantum computing capabilities with existing classical computing architectures, highlighting the potential for hybrid systems that leverage the strengths of both paradigms. By examining the technical challenges, compatibility issues, and potential solutions, the study seeks to provide a roadmap for adapting quantum computing technologies to work seamlessly alongside classical systems, thereby enabling a smoother transition into the quantum era and unlocking new possibilities for computational power and efficiency.

Quantum Circuits:

The Stern-Gerlach experiment (1922) [1] by Otto Stern and Walther Gerlach demonstrated the quantization of angular momentum. Silver atoms were passed through a non-uniform magnetic field, splitting into two discrete beams instead of a continuous spread. This showed that the magnetic moment (and thus spin) of particles is quantized, providing early

evidence for quantum spin. The experiment was pivotal in shaping quantum mechanics, influencing concepts like spin quantization and measurement.

Quantum circuit gates are the building blocks of quantum computing, analogous to classical logic gates but operating on qubits, using such gate we can implement mathematical logic to get a somewhat desired output.

Quantum Gates [2] are unitary operations that manipulate qubits. Common gates include:

- Pauli-X (NOT gate): Flips $|0\rangle$ to $|1\rangle$ and vice versa.
- Hadamard (H gate): Creates superpositions (e.g., $|0\rangle \rightarrow (|0\rangle + |1\rangle)/\sqrt{2}$).
- CNOT (Controlled-NOT): Flips a target qubit if a control qubit is $|1\rangle$.
- Phase (S, T) gates: Introduce phase shifts (e.g., $|1\rangle \rightarrow i|1\rangle$).

$$\frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$$

Using such gate we can also artificially create the quantum phenomenon known as entanglement Mathematically binding them such as the value of one qbit will be dependent on the other. [3]

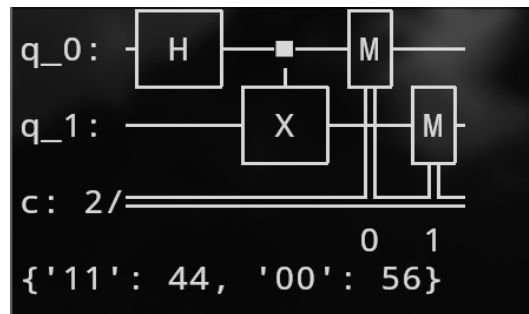


Figure 1. Probability of the $|+\rangle$ state

The First bit goes to state $|+\rangle$ and the second qbit which is initialize as 0 changes depending on if the state of the first qbit is 1 thus knowing the first qbit we can automatically predict the state of the second. After the simulation that ran for 100 cycles we got 44 cases where the final state of the qbits was '11' and 56 where it was '00' which falls in line with the probability of the $|+\rangle$ state (i.e. $\frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle)$) as Represented in Figure 1.

Quantum Binary Calculator:

Using quantum gates in a way similar to logic gates can be done if we consider the X gate as a not gate for quantum bits and the CNOT gate as an XOR gate for 2 bits[4]. Although we have only those 2 operators it is possible to express all the other logic gates in the quantum circuit way. For example an AND gate can simply be expressed with 2 qubits , a constant bit and CCNOT gate we can express the circuit as such in Figure 2:

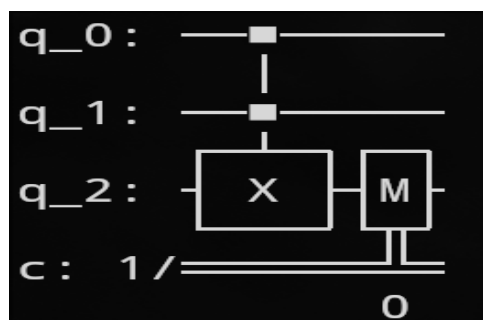


Figure 2. The AND gate expressed with 2 qbits

Putting all of this into practice, we translated the logic circuit for calculating the sum of bits into a quantum circuit and subsequently adding haddamart gates to simulate a quantum system as Represented in Figure 3.

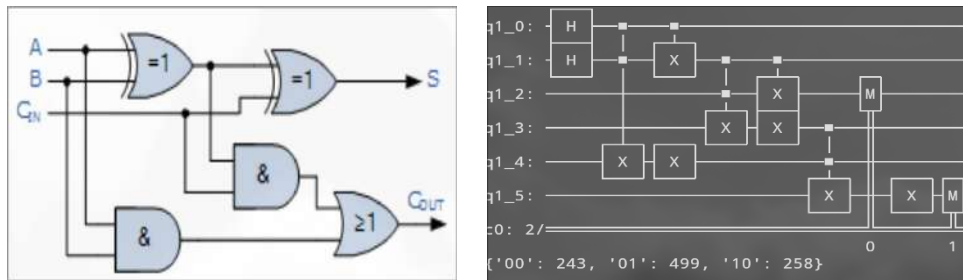


Figure 3. The Transition from logic gate to quantum gates [5]

As a result of running 1000 cycles we got the sum for each possible state for the qbits, this being a perfect example of why quantum computers can be powerful and a representation of the current roadblocks (i.e.the unpredictability of states).

Conclusion

Quantum computing offers a revolutionary approach to computation by leveraging quantum mechanics to perform tasks beyond classical capabilities. This paper explored quantum gates, circuits, and their applications, demonstrating how quantum logic can replicate classical computations. Despite its potential, challenges like state unpredictability and hardware limitations remain. However, ongoing advancements in quantum-classical integration and error correction bring us closer to practical applications. As research progresses, quantum computing will continue to push the boundaries of computation, enabling breakthroughs in cryptography, optimization, and scientific simulations.

References

1. 'Introduction to Quantum Mechanics', (Zeitschrift für Physik, 1922)
2. Nielsen, M. A., & Chuang, I. L. (2010). Quantum Computation and Quantum Information. Cambridge University Press.
3. https://learnquantum.io/chapters/02_quantum_computing/02_02_entanglement.html
4. https://learnquantum.io/chapters/01_classical_computing/01_02_reversible_computing.html
5. https://www.electronics-tutorials.ws/combinational/comb_7.html
6. <https://github.com/struggler5/Quantum-calc> - project github page

MODELAREA STATISTICĂ A SOLICITĂRILOR BAZELOR DE DATE UTILIZÂND SISTEME DE AȘTEPTARE

Dina BUZĂ

Departamentul Inginerie software și automatică, grupa TI-241M, Facultatea Calculatoarea, Informatică și
Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

*Autorul corespondent: Dina Buză, dina.buza@isa.utm.md

Îndrumătorul/coordonatorul științific **Alexei LEAHU**, prof.univ., dr., UTM

Rezumat. *Lucrarea vizează modelarea statistică pentru descrierea comportamentului solicitărilor într-un sistem de baze de date, prin abordarea acestuia ca un sistem de așteptare. Cercetarea are ca scop analiza indicatorilor de performanță a infrastructurii SGBD prin aplicarea distribuției Poisson pentru descrierea fluxului de interogări și a distribuției exponențiale pentru descrierea timpului de prelucrare a unei interogări urmate de simulări Monte Carlo pentru estimarea caracteristicilor cheie ale sistemului. Noutatea lucrării constă în oferirea unui cadru de modelare statistică, folosind conceptul de Sistem de Așteptare pentru cercetarea celor mai importante caracteristici privind performanțele funcționării unui SGBD (timpul de așteptare, timpul de răspuns, numărul de interogări aflate în așteptare, etc.).*

Cuvinte cheie: *simulare Monte Carlo, sisteme de așteptare, flux Poisson, analiză performanței, trafic baze de date*

Introducere

În contextul creșterii exponențiale a volumului de date și al cerințelor tot mai ridicate privind performanța sistemelor informatice, optimizarea funcționării sistemelor de gestiune a bazelor de date (SGBD) devine indispensabilă. Analiza și modelarea solicitărilor adresate acestor sisteme permit identificarea și prevenirea blocajelor, asigurând astfel timpi de răspuns optimi și o utilizare eficientă a resurselor.

Modelarea solicitărilor din SGBD ca fluxuri stochastice oferă o metodă riguroasă de analiză și predicție a performanței. În acest sens, teoria sistemelor de așteptare, în special modelul M/M/1, se dovedește a fi un instrument valoros. Conform lucrării lui Arnold O. Allen, "Probability, Statistics, and Queueing Theory with Computer Science Applications", modelul M/M/1, de exemplu, presupune un flux de sosiri Poisson și un timp de servire cu distribuție exponențială, fiind adecvat pentru descrierea sistemelor cu un singur server și cereri care sosesc aleatoriu.[1]

Aplicarea acestui model în contextul SGBD permite estimarea unor indicatori cheie precum timpul mediu de așteptare, lungimea medie a cozii și gradul de utilizare a serverului. Prin integrarea simulărilor Monte Carlo, se pot obține estimări precise ale performanței sistemului în diverse scenarii de încărcare, oferind astfel o bază solidă pentru optimizarea infrastructurii și a strategiilor de gestionare a resurselor.

Modelarea fluxului de solicitări în SGBD folosind Sistemul de Așteptare M/M/1

Funcționarea unui sistem de baze de date poate fi privită ca un flux continuu de solicitări care concurează pentru resurse limitate — CPU, memorie, I/O disk. În esență, utilizatorii trimit interogări care ajung la serverul bazei de date, acesta le procesează în ordinea primirii, iar între timp, alte solicitări continuă să sosească. Acest comportament se modelează eficient prin teoria sistemelor de așteptare, în special prin modelul M/M/1.[3]

Modelul M/M/1 este definit prin câteva ipoteze importante: sosirile sunt independente și urmează o distribuție Poisson cu rata λ (solicitări pe unitatea de timp), iar timpul de servire urmează o distribuție exponențială cu rata μ . Se presupune existența unui singur server, o coadă nelimitată și o politică de deservire FIFO (First-In-First-Out). Conform lui Arnold O. Allen, aceste presupuneri sunt realiste pentru sisteme informatice unde interogările sosesc aleatoriu, iar timpul de procesare variază în funcție de complexitatea cererii și performanța hardware.[1]

Aplicarea practică a modelului în cazul unui SGBD presupune clasificarea solicitărilor în citiri (SELECT), scrieri (INSERT), actualizări (UPDATE) și ștergeri (DELETE). Rata medie de sosire (λ) se determină prin monitorizarea logurilor de acces, în timp ce rata de servire (μ) depinde de viteza de procesare a serverului și de eficiența indexărilor, cache-urilor și optimizărilor de query-uri.[4]. Aici s-ar potrivi ca modele, de exemplu, Sistemele de Servire în mai multe etape descrise în [5].

Pentru această lucrare, vom considera o simulare ipotetică, menită să exemplifice metoda de modelare, nu să reflecte valori reale dintr-un sistem de producție.

Scenariul simulat:

- Platformă educațională universitară (ex: Moodle, dar datele sunt fictive).
- Rata medie de sosire: $\lambda = 15$ solicitări/secundă (trafic moderat în ore de vârf).
- Rata de servire: $\mu = 25$ solicitări/secundă (hardware optimizat, SSD, memorie suficientă).

Aceste ponderi reflectă utilizarea tipică a unui SGBD în medii educaționale, conform observațiilor practice din literatura de specialitate.[2]

Coeficientul de utilizare ρ (rho) exprimă gradul de încărcare al serverului sistemului:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{15}{25} = 0.6 \quad (1)$$

unde :

λ = rata medie de sosire (solicitări/unitate de timp)

μ = rata medie de servire (solicitări procesate/unitate de timp)

În Figura 1 este ilustrată distribuția timpilor de așteptare pentru solicitările adresate unui sistem de baze de date, modelat prin teoria sistemelor de așteptare M/M/1. Pe axa orizontală este reprezentat timpul de așteptare al solicitărilor, iar pe axa verticală – densitatea de probabilitate (culoare portocalie).

Histograma reflectă densitatea de distribuție a probabilităților timpilor de așteptare obținuți prin simularea statistică a 1000 de solicitări generate conform parametrilor modelului (rata de sosire $\lambda = 15$ solicitări/unitate timp și rata de servire $\mu = 25$ solicitări/unitate timp). Suprapusă peste histogramă, curba de culoare roșie reprezintă distribuția teoretică exponențială, căreia îi corespunde o valoare medie a timpului de așteptare egală cu:

$$T_{\text{asteptare}} = \frac{1}{\mu - \lambda} \quad (2)$$

Forma graficului confirmă ipoteza teoretică: majoritatea solicitărilor sunt procesate rapid, existând însă și valori sporadice cu timp de așteptare mai ridicat, ceea ce este specific pentru comportamentul exponențial. Suprapunerea histogramei densităților în baza datelor simulate statistic peste densitatea de distribuție teoretică evidențiază o corespondență bună, validând aplicabilitatea modelului M/M/1 în descrierea fluxului de solicitări pentru un SGBD.

În cadrul graficului, culoarea albastră reprezintă densitatea valorilor individuale ale timpilor de așteptare obținuți prin simularea statistică a procesului de sosire și deservire a solicitărilor. Linia portocalie, constantă, indică valoarea teoretică a densității probabiliste a timpului de așteptare, media teoretică a timpului de așteptare fiind calculată folosind formula:

$$T_{\text{asteptare}} = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{25 - 15} = 0.1 \quad (3)$$

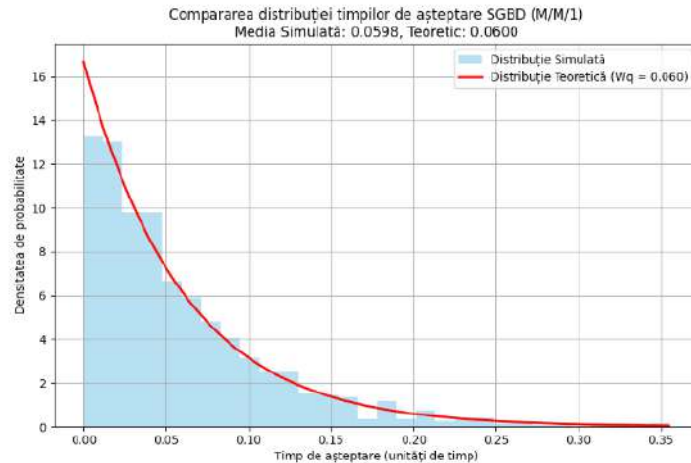


Figura 1. Compararea densității de distribuție teoretice a timpilor de așteptare cu histograma densităților aceleași caracteristici simulate statistic

Această comparație evidențiază faptul că, deși timpii de așteptare individuali prezintă variații semnificative datorită naturii stocastice a procesului, media lor globală tinde spre valoarea teoretică estimată, toate acestea țin consens cu Legea Numerelor Mari.

Pentru a verifica dacă distribuția sosirilor de solicitări într-un SGBD este compatibilă cu o distribuție Poisson, s-a recurs la testul Chi-pătrat. *Testul Chi-pătrat*, realizat în figura 3, se compară frecvența observată a sosirilor pe intervale mici de timp (ex: 100 ms) cu frecvența teoretică a unei distribuții Poisson de parametru $\lambda=15$. Testul Chi-pătrat a fost utilizat pentru a verifica dacă frecvențele de sosire a solicitărilor într-un sistem de baze de date urmează distribuția Poisson, ipoteză specifică pentru aplicarea modelului M/M/1.

Datele simulate au fost generate cu o rată medie de sosire de 15 solicitări pe unitatea de timp, pe un eșantion de 1000 de observații. Rezultatul obținut a fost o statistică Chi-pătrat de 6.51 și o p -valoare de 0.59.

Un p -value de 0.59 indică faptul că nu există suficiente dovezi pentru a respinge ipoteza că datele urmează distribuția Poisson. Prin urmare, modelul M/M/1 este considerat adecvat pentru descrierea fluxului de solicitări în acest sistem de baze de date. Testul validează utilizarea teoriei sistemelor de așteptare pentru analiza performanței SGBD în acest context.

Simularea performanței SGBD prin metoda Monte Carlo: Estimarea caracteristicilor sistemului

Pentru a analiza performanța sistemului de baze de date în scenarii cu variabilitate stocastică, a fost utilizată metoda Monte Carlo aplicată modelului M/M/1. Aceasta constă în generarea repetitivă a unor seturi de date sintetice, pe baza parametrilor definiți ai modelului (rata de sosire λ și rata de servire μ), pentru a estima statistic indicatorii cheie ai sistemului.

În cadrul simulării, s-au generat 1000 de solicitări aleatorii, folosind:

- timp de inter-sosire $\sim \text{Expon}(\lambda=15)$
- timp de servire $\sim \text{Expon}(\mu=25)$

Pentru fiecare solicitare, s-au înregistrat:

- timpul de așteptare în coadă
- timpul total petrecut în sistem
- lungimea cozii în timp

În continuare, pentru valorile $\lambda = 15$ și $\mu = 25$, am folosit următoarele formule :

- Pentru gradul de utilizare a serverului $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$ (3), $\rho = 0.6$, ceea ce indică o utilizare eficientă a resurselor, având în vedere că valoarea optimă este sub 1.

- Pentru timpul mediu de așteptare în coadă $W_q = \frac{\rho}{\mu(1-\rho)}$ (4), $W_q = 0.06s$, Timpul mediu de așteptare în coadă, calculat prin simulare, este de aproximativ 0.667 secunde, ceea ce este în concordanță cu previziunile modelului M/M/1.
- Pentru numărul mediu de solicitări în system, ce include și solicitarea aflată în procesare $L = \lambda * W(6)$, $L \approx 1$, Numărul mediu de solicitări aflate în procesare simultană este de aproximativ L1, o valoare care depinde de intensitatea traficului și de optimizările implementate pe hardware.

Concluzie

Lucrarea de față a demonstrat aplicabilitatea modelelor de așteptare pentru analiza performanței sistemelor de gestiune a bazelor de date, cercetarea fiind realizată suficient de exact prin prisma modelării Monte Carlo a sistemului de așteptare ce descrie funcționarea acestora. Prin simulări Monte Carlo, apelând la Analiza Inferențială a Datelor Statistice (testul Chi-pătrat), s-a arătat cum putem valida, de exemplu faptul că fluxul de solicitări poate fi modelat printr-o distribuție Poisson, iar timpii de răspuns respectă o distribuție exponențială. Rezultatele obținute au evidențiat o corespondență bună între valorile teoretice și cele simulate, ceea ce susține eficiența metodelor folosite. Astfel, metodologia prezentată oferă o bază solidă pentru estimarea și optimizarea performanței unui SGBD în medii cu trafic variabil, contribuind la îmbunătățirea deciziilor privind dimensionarea și configurarea infrastructurii informatice, chiar și atunci când modelul/sistemul de așteptare ce descrie funcționarea bazei de date nu poate fi abordat prin metode strict analitico-matematice.

Bibliografie

1. ALLEN, A.O. Probability, Statistics, and Queueing Theory with Computer Science Applications, 2nd ed.; Academic Press: San Diego, USA, 2005; pp. 264.
2. CHOWDHURY, S.; ISLAM, M.N.; SAYEED, S.A.; UDDIN, S.; RAHMAN, M.A. Performance Evaluation of Moodle LMS with Cloud Deployment. Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl. 2018, 9, 154.
3. GROSS, D.; SHORTLE, J.F.; THOMPSON, J.M.; HARRIS, C.M. Fundamentals of Queueing Theory, 4th ed.; Wiley: Hoboken, USA, 2008; pp. 85-87.
4. ROSS, S.M. Simulation, 5th ed.; Academic Press: Amsterdam, Netherlands, 2013; pp. 200.
5. KLIMOV, G.H.P., MATVEEV V.F., LEAHU A., Modele matematice ale sistemelor cu subdivizarea timpului de servire. Ed. "Știința", Chișinău, 1983, pp 110 (l. rus.)

APLICAREA ALGORITMILOR GENETICI ÎN CADRUL SISTEMELOR ÎNCORPORATE

Andrei SPATARI, Mihai BRUMĂ*, Roman GRIB, Pavel LEȘAN

¹Departamentul Informatică și Ingineria Sistemelor, grupa CRI-241M, Facultatea Calculatoare, Informatică și Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău. Republica Moldova

*Autorul corespondent: Mihai Brumă, mihai.bruma@iis.utm.md

Îndrumătorul/coordonatorul științific: **Viorel CĂRBUNE**, lector universitar, Departamentul Informatică și Ingineria Sistemelor, Chișinău, Republica Moldova.

Silvia MUNTEANU, lector universitar, Departamentul Informatică și Ingineria Sistemelor, Chișinău, Republica Moldova

Rezumat. În cadrul acestui articol se prezintă o modalitate de utilizare a algoritmilor genetici pentru găsirea unei soluții minim satisfăcătoare a unei probleme de combinatorică, în cazul de față, problema rucsacului. Algoritmii genetici sunt utilizați în special la problemele unde spațiul de căutare este imens și găsirea deterministă a unei soluții este imposibilă sau foarte costisitoare, astfel devenind o alternativă pentru metodele de determinare secvențială a soluției. Această abordare inspirată din biologia evoluționistă permite explorarea eficientă a spațiului soluțiilor prin operatori precum selecția, încrucișarea și mutația.

Cuvinte cheie: algoritmi genetici, sisteme încorporate, circuite FPGA, fitness, selecție.

Introducere

În ultimii ani se observă o creștere continuă a tehnologiilor din toate sferile IT, ca urmare crește cantitatea și esența datelor cu care operează acestea. Pentru a face față acestei probleme a apărut nevoia de a utiliza algoritmi noi, deoarece algoritmii bazați pe metoda deterministă necesitau un timp tot mai mare și mai mare de execuție. Drept soluție au apărut algoritmii genetici. După cum reiese din denumire, ei au la bază conceptul biologic de evoluție [1]. Metodele care au permis adaptarea ființelor vii la condițiile mediului înconjurător au fost aplicate în programare. Un algoritm genetic este orice model bazat pe ideea de populație, care folosește operatori de selecție și recombinare pentru a genera noi puncte în spațiul de căutare. Acest tip de algoritm s-a dovedit eficient în rezolvarea unor probleme complexe, unde metodele clasice întâmpină dificultăți semnificative, aceștia devenind o opțiune tot mai des întâlnită în domenii precum optimizarea, inteligența artificială și analiza datelor.

Scopul acestui proiect este elaborarea unui sistem care poate rezolva o problemă generică utilizând algoritmi genetici. Drept bază pentru sistem s-a utilizat limbajul C, care rulează pe o placă reconfigurabilă Intel FPGA.

Metode și Modele

Algoritmul genetic (AG) este o metodă de optimizare inspirată din genetică și selecția naturală. AG evoluează o populație de indivizi pentru a maximiza conformitatea (minimizarea funcției de cost) [2]. Componentele principale [2]:

- *cromozomul* – vector ordonat de gene, codifică o soluție potențială (individ);
- *genă* – determină o caracteristică a cromozomului, parte codificată;
- *alela* – valoarea genei, aleasă dintr-o mulțime finită;
- *fenotip* – comportamentul individului, determinat de alele;
- *individ* – entitate activă, caracterizată de cromozomi;
- *populație* – grup de indivizi cu grade diferite de adaptare;

- *mapping* – funcție de codificare a cromozomilor (creare individ);
- *funcția de performanță* – indică șansa de supraviețuire, bazată pe fenotip;
- *fitness* – măsoară adaptarea individului la mediu;

Algoritmii genetici au la bază calculul evolutiv, un domeniu al calculului inteligent ce abordează rezolvarea problemelor ca o căutare în spațiul tuturor soluțiilor posibile, prin imitarea evoluției naturale. Se folosește o populație de soluții potențiale asupra căreia se aplică transformări evolutive [2]:

- *selecția* – identifică cei mai buni indivizi ai unei generații:
 - *selecția elastică* – alegerea celor mai buni n indivizi ca părinți;
 - *selecția de tip turneu* – indivizii sunt grupați aleator, iar din fiecare grup se păstrează câștigătorul;
 - *selecția de tip ruletă* – probabilitatea de selecție e proporțională cu adaptarea individului.
- *încrucișarea* – combinarea a doi părinți prin schimbul unor sub-arbori selectați aleator;
- *mutația* – modificări aleatorii aplicate populației pentru a introduce variație genetică, imposibil de obținut doar prin selecție și încrucișare.

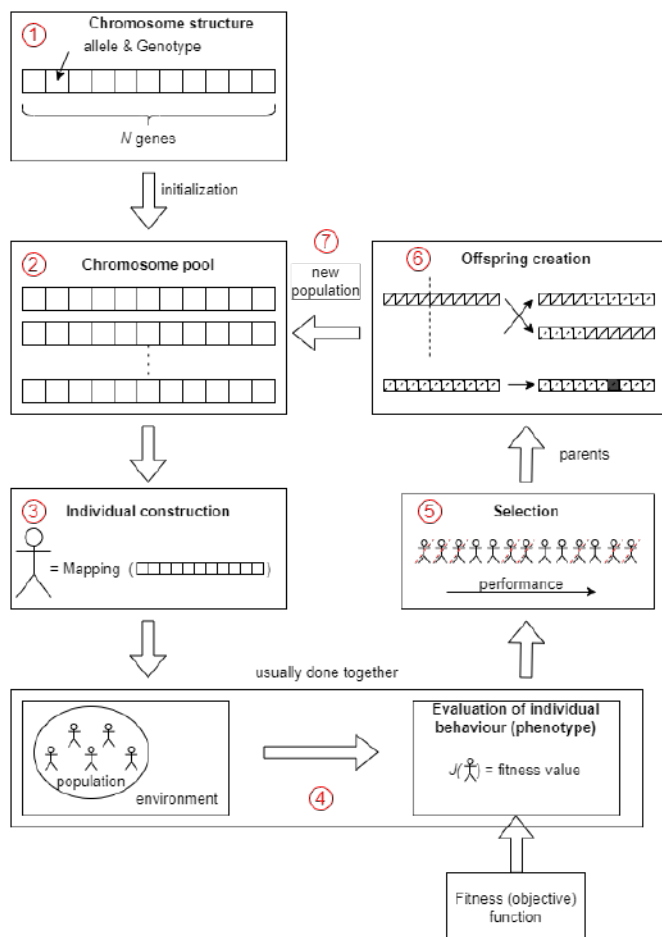


Figura 1. Schema logică al algoritmilor genetici

Operațiile genetice se aplică indivizilor selectați pe baza fitnessului, favorizându-i pe cei mai adaptați, dar păstrând și șansele celor mai slabi. Selecția este probabilistică, iar procesul iterativ de evaluare, selecție și transformare continuă până la atingerea unui criteriu de oprire. Rezultatul final este, în general, cel mai bun individ întâlnit în timpul rulării. Operațiile utilizate (crossover, mutație, reproducere) sunt proiectate astfel încât descendenții să fie sintactic valizi [2]. Toate aceste etape sunt ilustrate în Fig. 1.

Soluția software propusă utilizează un algoritm genetic pentru rezolvarea problemei rucsacului, optimizând selecția unui subset de obiecte astfel încât valoarea totală să fie maximă fără a depăși o greutate limită [3]. Algoritmul simulează un proces evolutiv, aplicând selecție, recombinare și mutație pentru a identifica treptat soluția optimă [4].

Soluțiile sunt reprezentate prin vectori binari, unde 1 indică includerea obiectului. Populația inițială este generată aleatoriu cu funcția *InitializePopulation*, asigurând diversitate. Evaluarea soluțiilor se face cu *EvaluatePopulation*, iar fitness-ul reprezintă suma valorilor obiectelor selectate; dacă se depășește greutatea permisă, fitness-ul este zero.

Selecția se face prin *SelectionTop5*, care alege indivizi aleatoriu, nu strict pe baza fitness-ului. Recombinarea are loc în *CloneTop5*, care generează o nouă populație folosind genele celor mai buni indivizi, iar *MutatePopulation* introduce variații prin mutații aleatoare, conform unei rate prestabilite. Toate aceste etape sunt prezentate în schema bloc din Fig. 2 de mai jos.

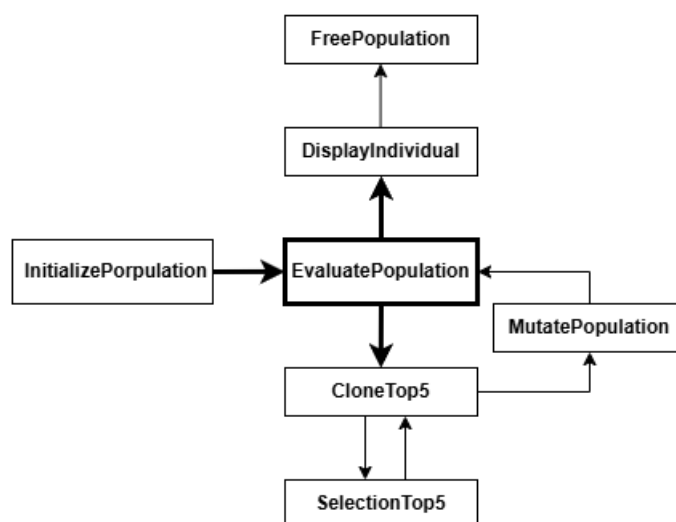


Figura 2. Schema bloc al algoritmului implementat

Algoritmul rulează pe un număr fix de generații, coordonat de funcția *main*, iar progresul este urmărit prin monitorizarea fitness-ului maxim. Parametri precum *NR_OF_ITEMS*, *SIZE_OF_POPULATION* și *MAX_KNAPSACK_WEIGHT* definesc configurația algoritmului, iar structura *IOI* stochează datele esențiale ale fiecărui individ. Se menționează că, în unele cazuri, fitness-ul este generat aleatoriu, afectând acuratețea evaluării.

Pentru acest proiect s-a decis utilizarea dispozitivelor reconfigurabile, mai precis FPGA (Field Programmable Gate Array), acestea oferind un set de avantaje și dezavantaje prezentate în Tab. 1 de mai jos [5].

Nucleul realizat pentru acest proiect constă din 4 componente de bază, arhitectura detaliată fiind prezentată, în Fig. 3 de mai jos, și anume: procesor, memorie RAM/ROM, generator de ceas și JTAG/UART.

Tabelul 1

Avantajele și Dezavantajele dispozitivelor reconfigurabile (FPGA).

Avantaje	Dezavantaje
• posibilitatea creării unui nucleu dedicat unei probleme specifice; • mai multe nuclee cu configurații diferite pe aceeași placă; • execuție paralelă a sarcinilor, imposibilă la microcontrolere; • viteză mare în realizarea task-urilor.	• programarea FPGA-ului este mai complexă decât cea a microcontrolerului; • realizarea și depanarea nucleului sunt dificile; • consum de energie mai ridicat față de alte microcontrolere;

Procesorul NIOS II acționează ca unitate centrală, controlând toate perifericele și comunicând bidirecțional cu memoria RAM/ROM pentru a scrie și citi date. Imaginea ilustrează și modulul prin care FPGA-ul transmite rezultatele algoritmului către un calculator host.

În prezent, comunicarea dintre FPGA și calculator este unidirecțională: FPGA-ul trimite rezultatele fără a primi comenzi. În versiunile viitoare, se va implementa comunicarea bidirecțională, transformând proiectul într-un API capabil să proceseze date la cerere.

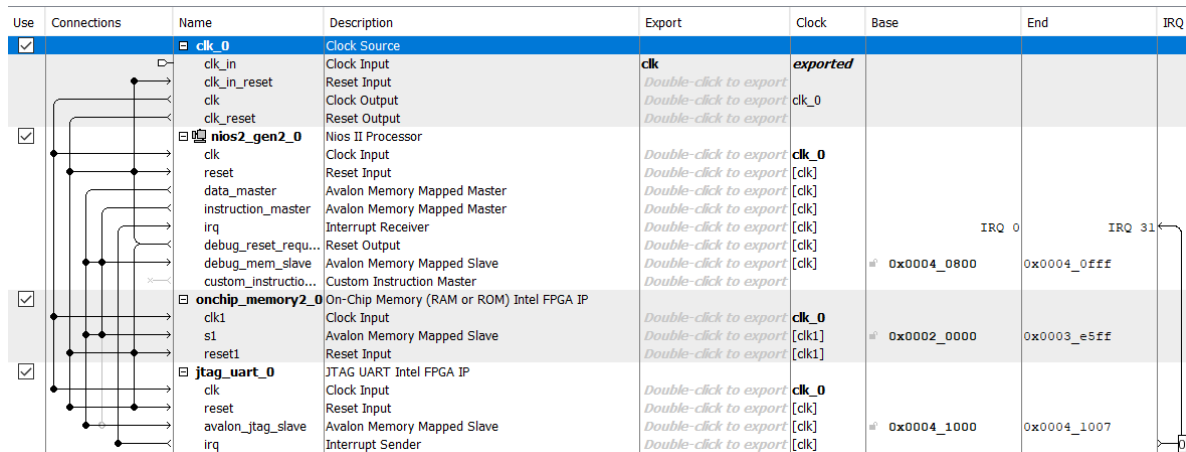


Figura 3. Arhitectura sistemului dezvoltată în Quartus Platform Designer

Rezultate și Discuții



Figura 4. Atingerea soluției optime prin algoritmul Brute Force

Funcția *BruteForceBestCombination* oferă o soluție completă pentru problema rucsacului, analizând toate combinațiile posibile de obiecte printr-o abordare de tip brute force. Fiecare combinație este reprezentată binar, iar funcția evaluează valoarea și greutatea totală a obiectelor selectate. Dacă greutatea este sub limita impusă și valoarea este mai mare decât cea a soluției anterioare, combinația este reținută. Metoda garantează soluția optimă, dar devine ineficientă pentru seturi mari de date datorită creșterii exponențiale a timpului de execuție [3].

În exemplul analizat, funcția brute force a parcurs 1024 de combinații (2^{10}) și a identificat combinația optimă 1101000100, la iterația 139, combinația având greutatea maximă admisă de 15 (Fig. 4). Prin comparație, algoritmul genetic a găsit o soluție de valoare 120 abia în generația 424 (Fig. 5). Tot aceeași soluție a găsit-o și la iterația 17 în timpul altei execuții (Fig. 6). Algoritmul genetic funcționează prin selecție, recombinare și mutație, îmbunătățind treptat soluțiile și explorând spațiul de căutare în mod aleatoriu.

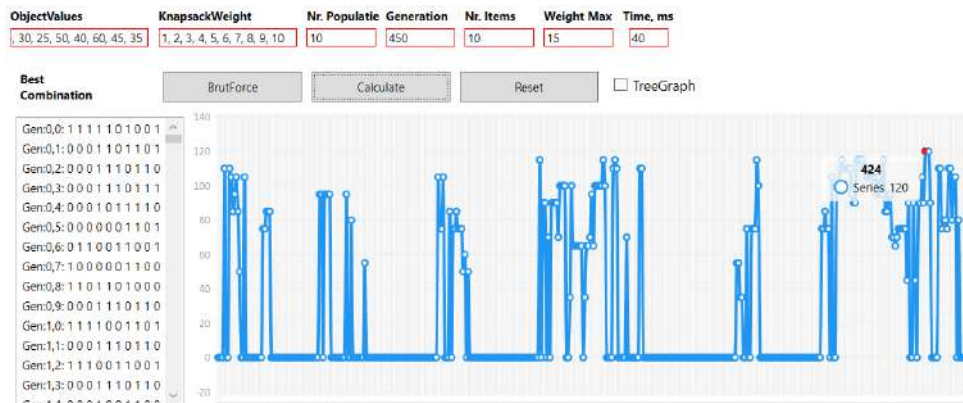


Figura 5. Atingerea soluției prin algoritmul genetic (iterația 424)

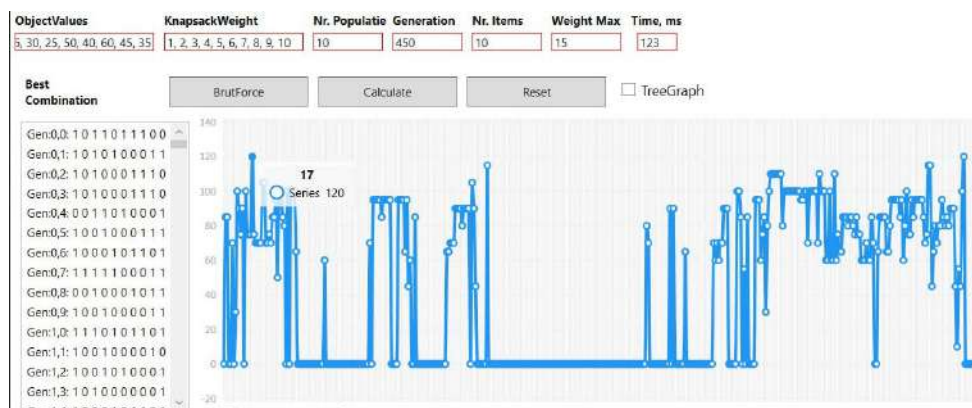


Figura 6. Atingerea soluției algoritmului genetic (iterația 17)

În cadrul Fig. 7 de mai jos este prezentată o imagine cu arborele genealogic pentru rularea respectivă. Cu verde este indicat individul selectat (cel mai bun), iar cu roșu – cei care sunt lichidați la fiecare iterație.

Deși algoritmul genetic necesită mai multe iterații pentru a se apropia de soluția optimă, avantajul său constă în scalabilitate. Spre deosebire de brute force, care devine rapid inefficient la creșterea numărului de obiecte, algoritmi genetici pot oferi soluții bune într-un timp rezonabil pentru probleme complexe. Astfel, alegerea metodei depinde de dimensiunea și natura problemei abordate.

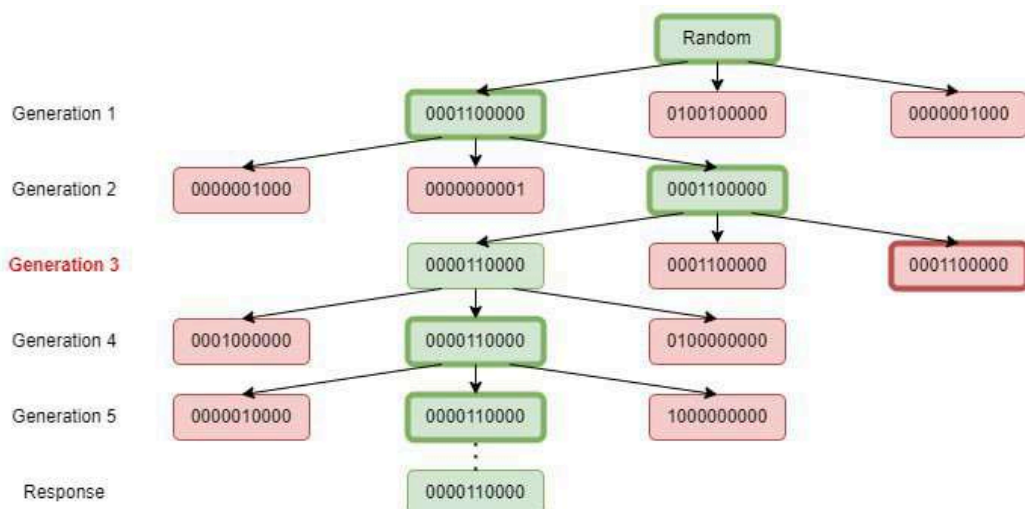


Figura 7. Rezultatul rulării codului și reprezentarea schematică

Concluzii

Algoritmii genetici reprezintă o metodă eficientă și adaptabilă pentru rezolvarea problemelor complexe de optimizare, cum este problema rucsacului. Deși metoda brute-force oferă soluții exacte, aceasta devine rapid inefficientă pe măsură ce complexitatea problemei crește. În schimb, algoritmii genetici demonstrează o capacitate remarcabilă de a explora un spațiu larg de soluții și de a identifica soluții viabile într-un timp rezonabil, însă acesta nu poate fi prezis. Soluția satisfăcătoare poate fi obținută atât în prima generație cât și în oricare alta ulterioară. Acest studiu evidențiază potențialul algoritmilor genetici de soluționare a problemelor de optimizare comparativ cu metodele standard.

Referințe

1. MUNTEANU, S.; TURCAN, A.; ALEXEI, V.; SUDACEVSCHI, V.; ABABII, V.; CARBUNE, V.; BORDIAN, D. Multi-Objective Optimal Solution Search Based on Genetic Algorithms. In *Proceedings of the 12th International Conference on "Electronics, Communications and Computing"*; Technical University of Moldova, 2022; pp 247–252. <https://doi.org/10.52326/ic-ecco.2022/CE.07>.
2. KATOCH, S.; CHAUHAN, S.S.; KUMAR, V. A Review on Genetic Algorithm: Past, Present, and Future. *Multimed Tools Appl* 2021, 80 (5), pp. 8091–8126. <https://doi.org/10.1007/s11042-020-10139-6>.
3. GAO, Z. Research on Solving 0-1 Knapsack Problem by Dynamic Programmin. *ACE* 2024, 33 (1), pp. 213–218. <https://doi.org/10.54254/2755-2721/33/20230272>.
4. ASSI, M.; HARATY, R.A. A Survey of the Knapsack Problem. In *2018 International Arab Conference on Information Technology (ACIT)*; IEEE: Werdanye, Lebanon, 2018; pp 1–6. <https://doi.org/10.1109/ACIT.2018.8672677>.
5. COFER, R.C.; HARDING, B.F., *Rapid System Prototyping with FPGAs; Embedded technology series*; Elsevier/Newnes: Amsterdam Boston, 2006.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ КУЛИНАРНЫМИ ЗАКАЗАМИ С ПРЕДСКАЗАНИЕМ СПРОСА, РЕКОМЕНДАЦИЯМИ И АНАЛИЗОМ ОТЗЫВОВ

Евгений КАСЬЯН

Departamentul Informatică și Ingineria Sistemelor, grupa ȘD-231M, Facultatea Calculatoare, Informatică și
Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, or. Chișinău, Republica Moldova

*Autorul corespondent: Евгений Касьян, eugeniu.casian1@iis.utm.md

Îndrumătorul/coordonatorul științific Галина МАРУСИК, dr., conf.univ., FCIM, UTM

Резюме. В работе представлен подход к разработке интеллектуального веб-приложения для сервиса онлайн-заказов в кулинарии. Приложение сочетает традиционные веб-технологии (HTML, CSS, JavaScript, PHP, MySQL) с элементами Data Science - прогнозированием спроса (Demand Prediction), рекомендательной системой и анализом отзывов клиентов (Sentiment Analysis). Описаны архитектура и функциональность системы, включая роли пользователей (заказчик, кулинарный эксперт, администратор и агент поддержки), процесс оформления и исполнения заказов, а также интеграция моделей машинного обучения для улучшения качества сервиса. Приведены результаты экспериментальной оценки: внедрение модели прогнозирования позволяет предсказывать нагрузку и оптимизировать ресурсы, персональные рекомендации повышают удовлетворенность пользователей, а анализ отзывов автоматизирует обработку обратной связи. Разработанное веб-приложение демонстрирует актуальность использования интеллектуальных методов в сфере онлайн-доставки еды и обеспечивает повышение эффективности и качества обслуживания клиентов.

Ключевые слова: веб-приложение, онлайн-заказы, прогнозирование спроса, рекомендательная система, анализ тональности, машинное обучение.

Введение

Рост популярности онлайн-заказов еды требует интеллектуальных решений для эффективного управления поставками и сервисом. Использование машинного обучения позволяет автоматизировать рутинные операции и улучшать качество обслуживания клиентов. Так, современные системы прогнозирования спроса на товары и услуги помогают лучше удовлетворять потребности покупателей и снижать издержки за счёт точного планирования запасов [1].

Персонализированные рекомендации блюд повышают конверсию и средний чек, а автоматический анализ отзывов (анализ тональности) позволяет оперативно реагировать на негатив и повышать лояльность. В данной работе поставлена задача разработки комплексного веб-приложения FoodAround, которое объединит функции прогноза спроса, рекомендательного сервиса и анализа отзывов, обеспечивая тем самым улучшение качества сервиса и оптимизацию бизнес-процессов в сфере общепита.

Методология

Приложение FoodAround реализовано по принципу микросервисной архитектуры, где каждый компонент отвечает за свою бизнес-функцию. Микросервисы - это небольшие автономные сервисы, взаимодействующие через API [2]. Базовая архитектура включает: веб-интерфейс, сервер приложений, модуль прогнозирования спроса, модуль рекомендаций, модуль анализа отзывов и базу данных.

Таблица 1

Компонентная архитектура и зоны ответственности

Компонент	Языки и технологии	Зона ответственности
foodaround_web	HTML, CSS, JS, PHP	Интерфейс, логика регистрации, заказов, отображение данных
foodaround_py	Python + Flask	API для Machine Learning: Список заведений: /get_restaurants (GET); Прогнозирование спроса: /predict_demand (POST), /predict (GET, POST); Рекомендации: /recommend (GET, POST); Анализ отзывов: /analyze_reviews (OPTIONS, POST), /analyze_topics (POST); CRUD для отзывов шефов и скрап-отзывов: /add_chef_review (POST), /get_chef_reviews (GET), /add_scraped_review (POST), /get_scraped_reviews (GET) Обновление данных/моделей: /update_data (POST)
MySQL + phpMyAdmin	SQL	Хранение данных пользователей, заказов, отзывов

Архитектура представлена в Табл. 1. Для связи сервисов используется технология REST API. Такой подход обеспечивает масштабируемость и гибкость системы: при возрастании нагрузки легко увеличить количество экземпляров сервисов, а изменение одного компонента не затрагивает другие.

Модули машинного обучения реализованы на языке Python с использованием открытых библиотек. В частности:

Прогнозирование спроса: строится регрессионная модель на основе исторических данных о продажах. На практике применяется метод «наилучшие переменные» и кросс-валидация из библиотеки scikit-learn для обучения модели типа регрессии (например, линейной регрессии или RandomForest).

Рекомендательная система: использует информацию о предыдущих заказах пользователей и атрибутах блюд. Реализовано контентно-бейзированное или гибридное решение на scikit-learn, предлагающее пользователю похожие или часто заказываемые вместе блюда.

Анализ отзывов: применены два подхода. Во-первых, автоматический анализ тональности на основе библиотеки VADER – это быстрый лексический метод оценки эмоциональной окраски текста [3]. Во-вторых, тематическое моделирование отзывов с помощью алгоритма LDA (Latent Dirichlet Allocation) позволяет выявлять основные темы обсуждения в отзывах [4]. Это даёт дополнительную информацию о том, какие аспекты обслуживания или блюд чаще всего упоминают клиенты.

Результаты и обсуждение

Результаты работы приложения демонстрируют ряд преимуществ предложенного подхода. Автоматизированное прогнозирование спроса на основе ML существенно упрощает планирование закупок и инвентаризацию: система предлагает прогноз по каждому товару и уведомляет об ожидаемых пиках спроса, что позволяет заблаговременно подготовить запасы и избежать дефицита или излишков. Такой инструмент «автозаказа» является эффективным способом оптимизировать запасы и повысить качество сервиса [1].

В отличие от типичных платформ доставки еды, разработанное приложение FoodAround обеспечивает не только интерфейс оформления заказов, но и не имеет ограничений в плане меню, а также включает интеллектуальные модули анализа данных. Это делает его не просто сервисом, а системой поддержки решений для кулинарного бизнеса, к которому могут присоединиться как уже популярные рыночные точки в сфере общепита, так и новички-кулинары.

Рекомендательная система в FoodAround увеличивает персонализацию сервиса: при оформлении заказа пользователю предлагаются блюда, которые ему могут понравиться на основе его истории заказов и популярных комбинаций. Это повышает средний чек и удовлетворенность клиентов.

Модуль анализа отзывов автоматически обрабатывает поступившие комментарии к заказам. Сентимент-анализ (VADER) позволяет выделять положительные и отрицательные отзывы, а тематическое моделирование (LDA) – определять, какие аспекты (качество еды, скорость доставки и т.д.) обсуждаются. Такая обратная связь помогает быстро реагировать на проблемы качества. В Табл. 2 представлены ключевые метрики работы интеллектуальных модулей.

Таблица 2

Ключевые метрики работы интеллектуальных модулей

Модуль	Метрика	Значение
Прогнозирование спроса	MAE	7.2 ед.
Рекомендательная система	Precision	81%
Анализ отзывов	Accuracy	88.6%
Тематическое моделирование	Кол-во тем с когерентностью > 0.45	4 из 5

Архитектура микросервисов и REST API обеспечивает модульность и надёжность системы. Таблица 3 показывает страницы и модули приложения, а также их доступность для разных ролей (клиента и администратора), что упрощает управление правами доступа.

Таблица 3

Доступность страниц и модулей веб-приложения в зависимости от роли

Название страницы	Незарегистриров. Неавторизованный пользователь	Потребитель	Кулинарный специалист	Агент Технической Поддержки	Админ
Главная/О нас/ Смена языка	+	+	+	+	+
Чат	-	+	+	+	+
Оставить обратную связь	-	+	+	+	+
Связаться с пользователем	-	-	-	+	+
Общая информация	+	+	+	+	+
Админ панель с CRUD таблицами	-	-	-	-	+
Регистрация	+	-	-	-	-
Авторизация	+	-	-	-	-
Прогнозирование спроса	-	-	+	-	+
Рекомендация Блюда	-	+	-	-	+
Анализ отзывов	-	-	-	+	+

История заказов потребителя	-	+	-	-	+
Оформление заказа	-	+	-	+	+
История заказов кулинарного специалиста	-	-	+	-	+
Активные заказы потребителей	-	-	+	+	+

В целом автоматизация ключевых бизнес-задач повышает качество сервиса и удовлетворённость клиентов. Благодаря интеграции прогнозирования, рекомендаций и анализа отзывов система FoodAround позволяет предприятиям общественного питания более эффективно принимать решения. Так, согласно оценкам, подобные интеллектуальные решения существенно улучшают управление запасами и уровень клиентского сервиса.

Выводы

Разработано и описано интеллектуальное веб-приложение FoodAround для комплексного управления кулинарными заказами с использованием ML-технологий. Основные результаты: обеспечено прогнозирование спроса для оптимизации запасов, реализована персональная система рекомендаций блюд и модуль анализа клиентских отзывов. Применение микросервисной архитектуры и современных библиотек данных (scikit-learn, VADER, LDA) позволило создать гибкую и расширяемую платформу. Практическая значимость системы заключается в том, что она автоматически повышает точность планирования продаж, ускоряет обслуживание и улучшает качество клиентского сервиса. В дальнейшем планируется расширить функциональность (например, подключение реального времени данных, усовершенствование алгоритмов рекомендаций).

Благодарности

Автор выражает благодарность научному руководителю за руководство и поддержку, оказанную при подготовке данной работы.

Библиография

1. Datanomics. Машинное обучение для прогнозирования спроса: план внедрения. Доступно онлайн: <https://datanomics.ru/artciles/mashinnoe-obuchenie-dlya-prognozirovaniya-sprosa-plan-vnedreniya/> (Дата обращения: 15.05.2025).
2. Systems Education. Статья. Микросервисная архитектура. Доступно онлайн: <https://systems.education/micro-services-architecture> (Дата обращения: 20.05.2025)
3. Journal of Big Data. Analysis of customer reviews with an improved VADER lexicon classifier. Доступно онлайн: <https://journalofbigdata.springeropen.com/articles/10.1186/s40537-023-00861-x> (Дата обращения: 21.05.2025)
4. BLEI, D. M., NG, A. Y., JORDAN, M. I. – Latent Dirichlet Allocation. Journal of Machine Learning Research 2003, Vol. 3, pp. 993–1022. Доступно онлайн: <https://jmlr.csail.mit.edu/papers/v3/blei03a.html> (Дата обращения: 21.05.2025).

MUSIC DSL: A DOMAIN-SPECIFIC LANGUAGE FOR MUSIC COMPOSITION AND AUTOMATION

Vladislav AMZA, Mădălina CHIRPICINIC*, Dumitru POSTORONCĂ,
Sabina POPESCU, Dumitru RACOVITĂ

Department of Software Engineering and Automation, group FAF-233, Faculty of Computers Informatics, and
Microelectronics, Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova

*Corresponding author: Chirpicinic Mădălina, madalina.chirpicinic@isa.utm.md

Tutor/coordinator: **Leon BRÎNZAN**, university lecturer

Abstract. *This article presents a domain-specific language designed to make music composition and automation easier for people with elementary programming knowledge. This tool provides a more understandable and user-friendly syntax compared to the other existing tools on the market, such as SuperCollider, Sonic Pi, and TidalCycles. A preliminary domain analysis was conducted to identify the primary drawbacks of the modern music software, which included complex user interfaces, nonexistent or insufficient automation functionalities, and poor MIDI and digital audio workstation (DAW) integration. In order to address these limitations, the proposed Music DSL comes with a variety of built-in capabilities for music theory, MIDI and MP3 export support, and real-time audio playing through an easy-to-use, simplified syntax. A lexer, recursive-descent parser, and interpreter make up the compiler-based architecture used to construct the language. The language utilizes a Backus-Naur Form (BNF) syntax for composition using fundamental musical elements, such as tempo, loudness, loops, synchronised blocks, and pauses. The interpreter turns abstract syntax trees into audio output by using the pydub package and sine wave synthesis. An interactive interface with features including playing controls, music sheet visualisation, modular code chunks, and a history panel is part of the development.*

Keywords: *abstract syntax tree, Backus-Naur form, DAW integration, generative music, MIDI, music theory*

Introduction

The development of digital tools and automation systems has remarkably expanded the potential of music composition, enabling people to develop complex arrangements through software automation, algorithms, and real-time compilation and production. The augmentation of digital audio workstations (DAWs) has permitted musicians and developers, however often at the expense of convenience and simplicity. Tools like SuperCollider, Sonic Pi, and TidalCycles provide various features and functionalities but demand extended programming knowledge, which could become an obstacle and drawback for beginners, educators, students, and other interested users.

Domain Analysis

Nowadays, complex environments that need notable technical competence dominate the digital music creative landscape. Difficulties involve inadequate integration with digital audio workstations (DAWs) or MIDI, complicated interfaces, and restricted automation capabilities. Based on the conducted market research [3], solutions of low-code and code-based performance are becoming more and more popular, which emphasises the need for easily accessible tools that fill in technical competences and knowledge gaps. Music DSL provides MIDI export, preset functions for music theory, and a streamlined syntax that speeds up development and

experimentation. Below, an overview of the competitive landscape of music composition language-based tools depicts the market environment that the Music DSL promises to enhance.

Table 1

Competitive landscape of music generation tools [3]

Tool	Strengths	Limitations
SuperCollider	Great for real-time synthesis and design of sounds	Complex language syntax and steep learning curve
Sonic Pi	Has real-time coding and is user-friendly	Restricted options for customization
TidalCycles	Optimized for music rhythms and rhythmic live coding	Needs competences and knowledge of Haskell
DAWs (Ableton, FL Studio, Logic Pro)	Standards on the market with an intuitive user interface	Manual workflows and lack of options for native scripting

The main problems in the music software present on the current market include the complicated interfaces that lead to steep learning curves and which restrict accessibility. At the same time, automation options are frequently not enough to generate music efficiently and productively. The lack of integration with DAWs, export formats, and MIDI devices make the software products for music composition less appealing to potential users. Furthermore, non-programmers are unmotivated to engage in music programming due to the complex syntax and scarcity of low-code possibilities. Low-code and visual programming tools for music production are becoming more and more popular, according to market research and trends. To create more accessible, efficient, and adaptable music composition platforms that can be used by all categories of users from beginners and experts, it is imperative to address these demands imposed by the potential target users.

Language design and architecture

The domain-specific language for music composition is constructed using a compiler-based system design which covers three key elements: lexical analysis, parsing, and interpretation. BNF (Backus–Naur form) [4] is used to define the language grammar, which supports synchronised blocks, loops, pauses, chunks, instrument calls, and tempo changes. Source code introduced by the users on the Music DSL interface is tokenised by the lexer and then parsed by a recursive-descent parser into an abstract syntax tree (AST). The interpreter converts the abstract syntax tree into playable audio files by using the sine wave generation and pydub package for audio synthesis.

In the figure below, a representation of the Music DSL's abstract syntax tree covers all the main and detailed aspects of the functionality of the language. It depicts how source code written in this Music DSL is organised hierarchically, with the root node *program* branching into *basicCommands* and *initializationCommands*. The key elements of music composition – time signatures, tempo, volume, instruments, loops, and synchronisation – are being defined in the structure of abstract syntax tree. Every node decomposes into smaller parts, including loop control statements (*loopInit*, *loopCondition*, *loopIncrement*), *tsKeyword*, *tempoKeyword*, and *instrumentIdentifier*. This AST demonstrates the grammatical structure of procedural logic and musical parameters in the DSL.

The Music DSL additionally includes dynamic parameter adjustments at runtime, which enable users to alter tempo, volume, and instrument selection in real time, further augmenting versatility and expressiveness. The language is especially helpful for live performances and interactive music programming because of this feature, which allows for real-time experimentation and iterative improvement of musical compositions. Furthermore, additional musical elements like effects, arpeggios, or custom scales can be easily incorporated into the language without interfering with the parsing logic thanks to the AST's modular nature. The

Music DSL's versatility makes it a scalable option for processes in both professional and educational music production.

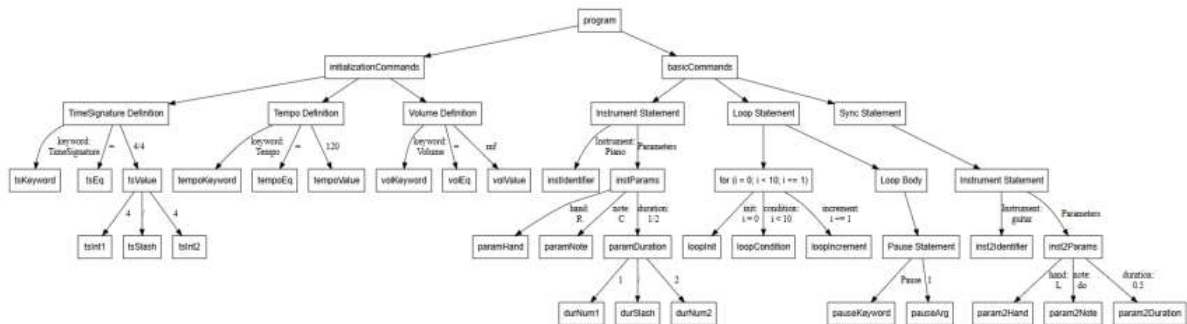


Figure 1. Abstract syntax tree for the music domain-specific language

Initially, generating a simple prototype that permits users to specify musical elements—such as notes, chords, and rhythms—using an easy-to-understand, accessible, and friendly syntax is the primary step in validating the Music Domain-Specific Language (Music DSL). The prototype should be able to integrate with current Digital Audio Workstations (DAWs) and music production tools, support real-time playback via MIDI output, and have basic automation features including looping, tempo changes, and dynamic control. For example, the *Figure 2* below is an example of a Music DSL script that plays a tune in C major. The script specifies a series of notes as a melody, chooses the piano as the instrument, sets the tempo to 120 BPM, and starts playback. This illustration demonstrates how the DSL makes it easier to define musical parameters in an understandable way.

```
1 tempo 120
2 instrument piano
3
4 melody = [C4, D4, E4, F4, G4, A4, B4, C5]
5 play melody
```

Figure 2. Music DSL example for a C Major Melody

High-level musical instructions are converted into actual audio output by a structured pipeline during the execution of a Music DSL program. A user-defined script created in a simplified domain-specific language specifically designed for music composition serves as the starting point for this procedure. Typically, the script contains things like note or chord sequences, tempo settings, and instrument declarations. In order to facilitate structured interpretation and execution, this textual input is first transformed into an intermediate representation.

The system's key components are a lexer and parser that examine the source code and produce an Abstract Syntax Tree (AST) that records the commands' syntactic and semantic structure. The interpreter then moves through this tree, carrying out commands while controlling variables related to musical state, time, and surroundings. It creates music events with all the information required for playback, including pitch, duration, instrument, and timing, as it decodes each node. In the end, these events are transformed into MIDI or audio files that may be played or loaded into other digital audio applications.

Below, *Figure 3* provides a more thorough overview of this execution pipeline, showing every step of the process from source code to the final audio output. This includes lexical analysis, AST interpretation, timing and state updates, and the creation of MIDI and audio files.

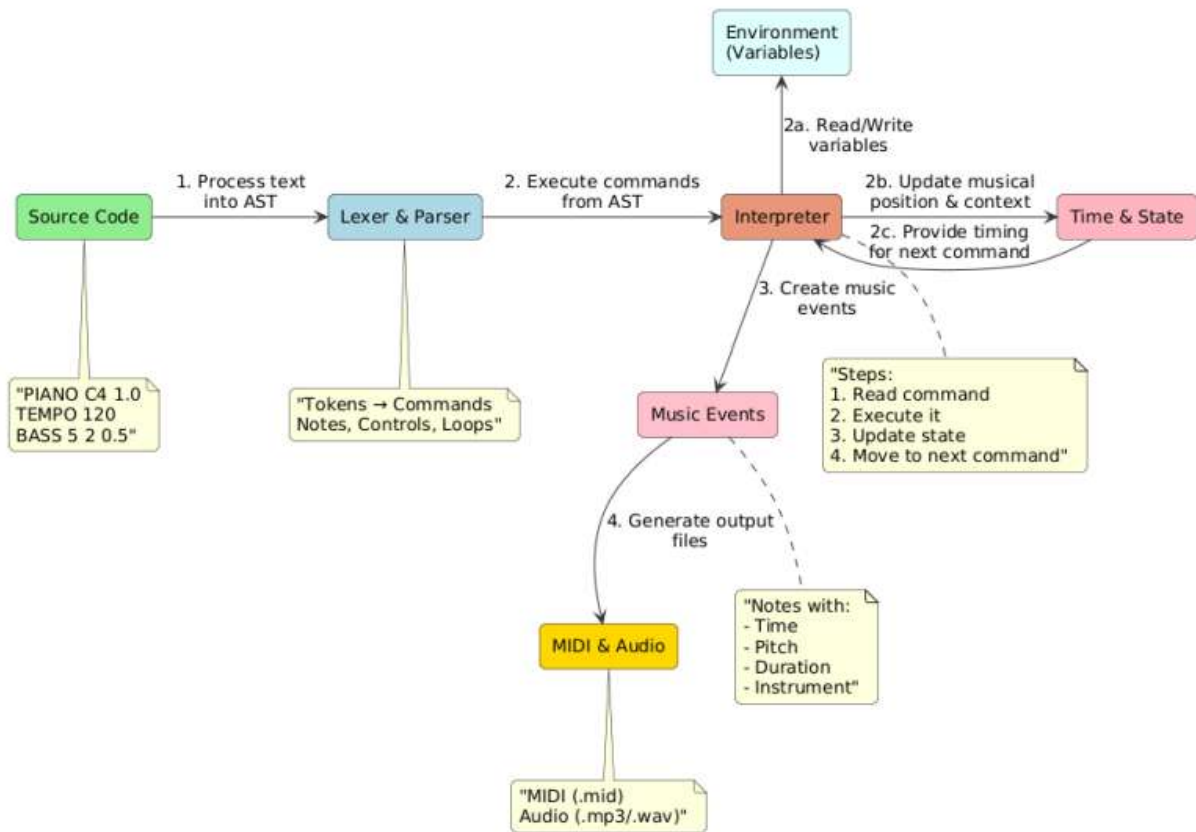


Figure 3. Execution Pipeline of the Music DSL Interpreter, from source code to audio output

The picture shows a workflow diagram that shows how different parts of a system intended for processing and presenting data pertaining to music interact with one another. In the codeEditor.tsx component, the user writes DSL (Domain-Specific Language) code to start the process. After acknowledging the code, the user clicks "Run," which causes the process-dsi API to receive a POST request. The input is sent by this API to a Python backend, where it is processed by a lexer, parser, and interpreter to produce musical notation data and an MP3 audio file.

The Python backend then returns a JSON response containing the MP3 file and an Abstract Syntax Tree (AST) representation of the input. Upon receiving the response, the system splits the data: the audio is sent to musicPlayer.tsx for playback, and the notation data is sent to musicNotation.tsx for rendering. The user interface subsequently displays both the audio output and the musical notation, completing the workflow.

The system uses asynchronous processing to manage computationally demanding processes like audio synthesis and notation creation without interfering with the user interface in order to maximise performance and user experience. Every step of the process, from code checking in the editor to processing API responses, incorporates error handling methods to guarantee that users receive unambiguous feedback in the event that problems occur. The creative process is greatly streamlined by this strong architecture, which allows real-time feedback loops so composers can hear and see the effects of their DSL code changes quickly. Future improvements, like collaborative editing or cloud-based rendering, are also made possible by the division of responsibilities between frontend visualisation and backend computation, all without necessitating significant architectural adjustments, and simultaneously combined into a user-friendly interface capable to fulfil these market needs.

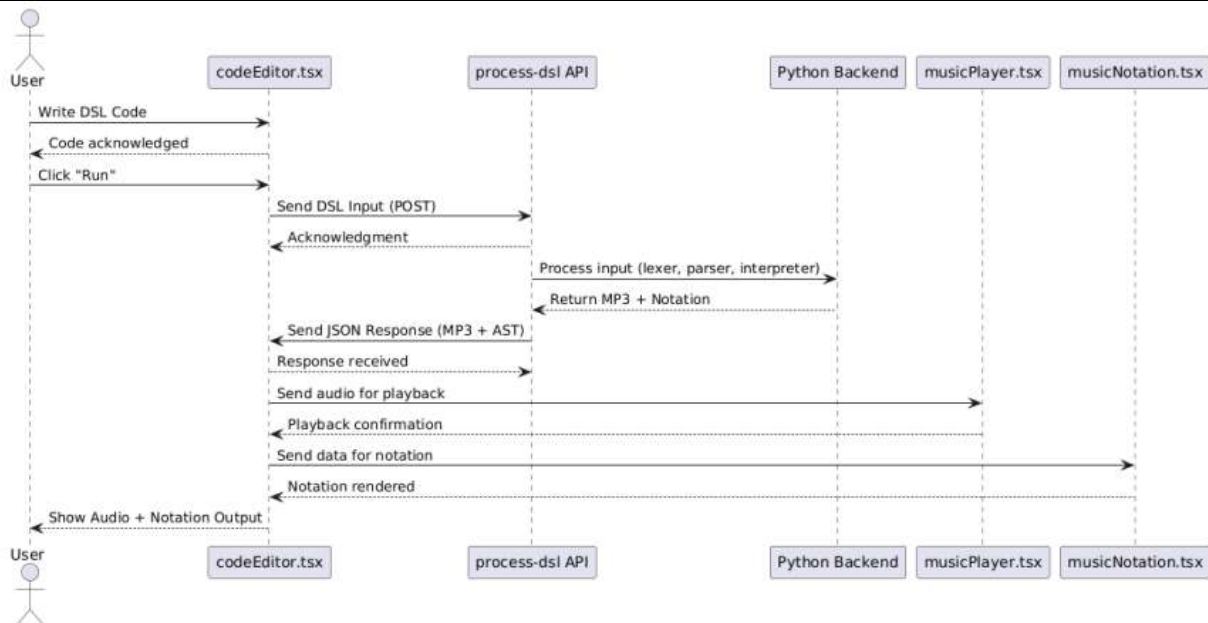


Figure 4. Sequence diagram for the execution of the Music DSL

The diagram highlights a clear separation of concerns between frontend and backend components, with the frontend handling user interactions and rendering, while the backend manages the heavy lifting of processing and data generation. This modular approach ensures efficient communication and seamless integration between the code editor, music player, and notation display.

Conclusions

In this article, by providing a simple, low-code solution for users with very rudimentary programming skills, the Music Domain-Specific Language (Music DSL) described tackles major issues in contemporary music creation tools. With its intuitive syntax, integrated music theory support, and smooth MIDI/MP3 output features, the proposed Music DSL streamlines music creation in contrast to other programs like SuperCollider, Sonic Pi, and TidalCycles, which frequently call for highly skilled technical knowledge. The language effectively converts high-level musical instructions into playable audio by utilising a compiler-based architecture, which consists of a lexer, recursive-descent parser, and interpreter. This makes music programming more approachable for novices, educators, and enthusiasts.

The workflow diagram demonstrates how the system's modular design guarantees a distinct division between frontend and backend components. Users can create DSL scripts using the code editor (codeEditor.tsx), and the Python backend will process them to produce musical notation (AST) and audio output (MP3). The music player (musicPlayer.tsx) and notation display (musicNotation.tsx) render these outputs in real-time, offering a responsive and engaging user experience. In addition to improving accessibility, this methodical approach makes it easier to scale in the future, opening the door for possible connections with Digital Audio Workstations (DAWs) and other automation capabilities.

In order to further bridge the gap between programming and music production, future work could include AI-assisted composition, sophisticated MIDI controls, and collaborative features to the Music DSL. This DSL has the potential to develop into a flexible tool for generative music, teaching, and quick prototyping in digital audio environments if its syntax and execution pipeline are further improved.

References

1. COJUHARI, I.; DUCA, L.; FIODOROV, I. *Formal Languages and Finite Automata. Guide for practical Lessons*. Chișinău: Editura Tehnica-UTM, 2022, 120 p. ISBN 978-9975-45-852-8
2. DUCA, L.; COJUHARI, I.; CIORBĂ, D.; COJOCARU, S. *Limbaje formale și automate finite. Ghid pentru lecțiile practice*. Chișinău: Editura Tehnica-UTM, 2024, 128 pp. ISBN 978-9975-64-381-8.
3. ARAUJO, A. S. de O.; RODRIGUES, M.; LEAL, J. P.; PORTELA, F. DrumLace – A Domain-Specific Language (DSL) for Drum Programming. OASlcs, Volume 120, SLATE 2024, 2024, 9 pages. DOI: 10.4230/OASlcs.SLATE.2024.8. Available at: <https://drops.dagstuhl.de/entities/document/10.4230/OASlcs.SLATE.2024.8>. Accessed: 2025-02-19.
4. NAUR, P. (1960). Report on the Algorithmic Language ALGOL 60. Communications of the ACM, 3(5), 299–314. DOI: 10.1145/367236.367262.

МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ И ЕГО РОЛЬ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

Артём ХАЕЦКИЙ*

Department of Software Engineering and Automation, group IS-241M, Faculty of Computers,
Informatics and Microelectronics, Technical University of Moldova, Chişinău, Moldova

*Corresponding author: Артём Хаецкий, artiom.haetchii@isa.utm.md

Аннотация. В данной статье представлен анализ сущности машинного обучения и выявляется его роль в современном мире. Исследование раскрывает определение такого феномена искусственного интеллекта, как машинное обучение, даёт внятное представление об его основных типах, в ходе которого демонстрируются собственные примеры результатов применения алгоритмов кластеризации в обучении без учителя и классификации в обучении с учителем для наглядного понимания этих аспектов. Вдобавок к этому, делается акцент на рабочем процессе машинного обучения, который, как правило, проходит в несколько рассмотренных этапов, а также на его ключевых проблемах и способах их решений. Статья также касается такой разновидности машинного обучения, как глубокое обучение, которое использует многослойные нейронные сети для решения задач.

Далее в статье рассматривается применение машинного обучения в сферах промышленности, логистики, финансов, маркетинга и продаж, что позволяет реально оценить важность исследуемого предмета в настоящее время.

Финальная часть статьи описывает ряд существующих преимуществ и недостатков машинного обучения. Отмечается, что несмотря на свои недостатки, машинное обучение всё больше проникает в различные сферы жизни, а его роль становится ощутимей. Акцентируется внимание на стремлении развития методов обучения с небольшим количеством данных, разработке моделей, чьи решения можно будет интерпретировать без помощи экспертов.

Ключевые слова: алгоритмы, обучение, классификация, кластеризация, искусственный интеллект.

Введение

В настоящее время человечество ощущает бурное развитие технологий, которые коренным образом меняют различные сферы человеческой жизни. Одним из таких достижений цифровой эпохи стало машинное обучение, которое сегодня занимает важное место в мире, обеспечивая функционирование систем, которые казались чем-то невозможным. Там, где требуется быстрое и точное принятие решений на основе больших объёмов данных, машинное обучение демонстрирует свою эффективность [1]. Постепенное развитие вычислительных мощностей, усовершенствование алгоритмов позволили внедрить технологии машинного обучения в сферы промышленности, медицины, финансов и т.д.

Данная статья предлагает углубиться в исследование такой области искусственного интеллекта (ИИ), как машинное обучение, рассматривая понимание этой технологии, тонкости его работы и проблемы, показывая при этом результаты применения различных алгоритмов кластеризации и классификации. Анализируется применение исследуемой части ИИ в жизни людей, а также рассматриваются имеющиеся преимущества и недостатки.

Машинное обучение. Определение

Для начала необходимо понять, что вообще такое машинное обучение, что оно из себя представляет.

Машинное обучение - это область искусственного интеллекта, занимающаяся разработкой алгоритмов и статистических моделей, которые позволяют компьютерным системам автоматически обучаться на данных, выявлять закономерности и принимать решения без явного программирования [2]. В отличие от традиционного программирования, где каждое действие описывается вручную, машинное обучение основывается на использовании опыта, представленного в виде данных, для построения адаптивных моделей. Эти модели способны анализировать большие объёмы информации, прогнозировать будущие события, находить скрытые зависимости и со временем улучшать свою точность, минимизируя необходимость прямого вмешательства человека.

Основные типы машинного обучения

В отличие от того, как алгоритмы получают информацию и как они используют её для построения предсказаний или принятия решений, существуют следующие типы машинного обучения:

1. Обучение с учителем.

При таком виде обучения алгоритмам предоставляются уже размеченные данные. То есть для каждого входных данных уже существуют определенные выходные результаты. Например, есть ряд характеристик каких-то фруктов. При определённой комбинации это будет яблоко, при другой груша. При помощи этого алгоритм изучает и анализирует данные и закономерности для будущего прогноза у новых, ранее невиданных данных.

К примерам задач при таком обучении можно отнести регрессию и классификацию. Регрессия – это задача, при которой прогнозируются какие-то непрерывные значения, классификация же присваивает объекту определённую категорию или класс.

Например, перед нами стоит задача классификации и необходимо определить, является ли объект апельсином или же грейпфрутом. После типичного выполнения процесса машинного обучения, который будет рассмотрен в следующей главе, результатом выполнения стала оценка модели на новых данных, представленная на Рис. 1.

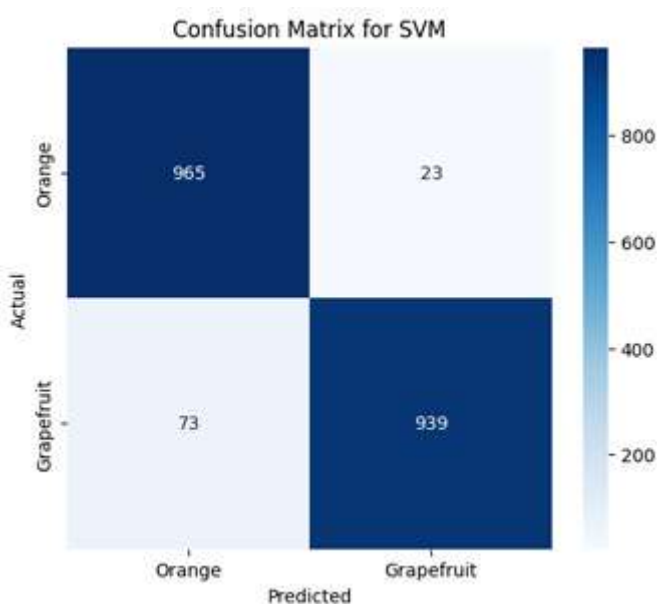


Рисунок 1. Оценка модели на прогнозировании новых данных

Как видно из Рис.1, на основе невиданных тестовых данных, при классификации, программа довольно точно определила предложенные ей цитрусы.

2. Обучение без учителя.

При таком виде обучения алгоритму уже не предоставляются заранее размеченные данные. Он должен самостоятельно найти связи, аномалии, закономерности и продемонстрировать правильное решение. К примеру, такой алгоритм способен распределить новостные статьи из различных источников в общую категорию [3].

Одной из задач при таком виде обучения является кластеризация, суть которой заключается в группировке похожих объектов.

Простым наглядным примером может служить распределение точек на плоскости в определенную группу (кластер). Это продемонстрировано на Рис 2.

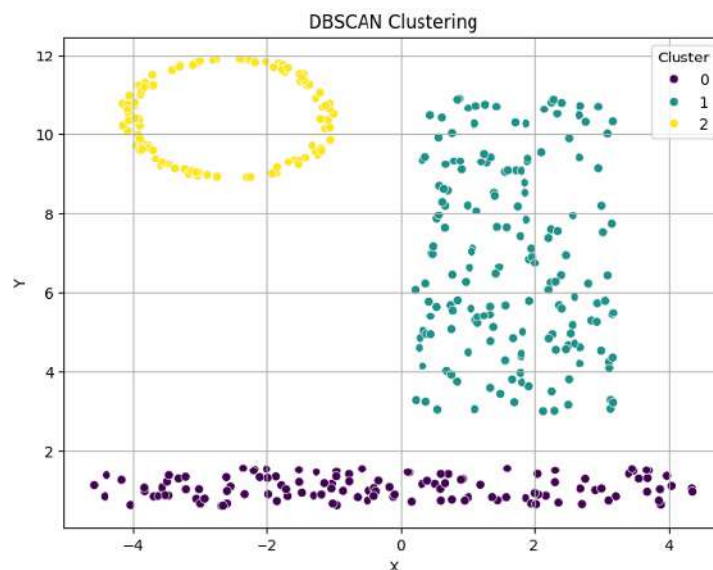


Рисунок 2. Распределение точек на плоскости в определенную группу

Как видно из Рис. 2, алгоритм кластеризации справился со своей задачей, правильно распределив точки на плоскости, в результате чего можно наблюдать 3 фигуры.

Другой наглядный пример продемонстрирует результат распределения различных текстов, статей в определенную категорию, о чем говорилось ранее. Это представлено на Рис. 3.



Рисунок 3. Распределения различных текстов, статей

Как видно из Рис. 3, алгоритм кластеризации справился со своей задачей, правильно объединив темы плавания и сёрфинга в одну группу, а также визуально выделил ключевые слова данной группы.

3. Обучение с частичным участием учителя.

Такой вид обучения сочетает в себе прошлые два способа. Алгоритму предоставляются как размеченные, так и неразмеченные данные. Всё сводится к тому, чтобы модель могла выявить структуры, связи в размеченных данных и далее применить их к определению неразмеченных данных [4]. Плюсом такого обучения является отсутствие необходимости большого количества размеченных данных.

4. Обучение с подкреплением.

При таком виде обучения алгоритм взаимодействует с определенной средой, пытаясь минимизировать штрафы, получая как можно больше наград [5]. То есть, алгоритм действует, среда реагирует на это и далее происходит фидбэк о правильности действия, где уже модель либо получает вознаграждение, либо же “теряет очки”. Сегодня, к примеру, это используется в видеоиграх, где компьютерных ботов учат правильно реагировать на определенные события в среде.

Процесс машинного обучения

Стандартный процесс машинного обучения проходит в несколько этапов:

1. Сбор данных. Данными выступают различные объекты информации, которые получены из разных источников. Например, цены на квартиры, характеристики вина и т.д. Чем качественнее и разнообразнее будут данные, тем выше потенциал модели.
2. Работа с данными. На данном этапе важно привести данные в порядок для дальнейшей качественной работы с ними. Например, зачастую можно встретить пропущенные, некорректные значения, которые будут впоследствии негативно влиять на модель.
3. Исследовательский анализ данных. Перед тем, как строить модель, важно понять структуру данных, то есть необходимо определить распределение данных, зависимости между ними, выбросы и т.д.
4. Отбор характеристик. Может быть такое, что не все собранные данные значимы для решения задачи. Их необходимо будет исключить для того, чтобы модель концентрировалась только на тех данных, которые несут смысл.
5. Выбор подходящей модели. Для решения определённой задачи подойдут не все доступные алгоритмы. Необходимо понимать их принципы и знать, какие алгоритмы лучше подходят для той или иной задачи.
6. Обучение модели. Обучение модели на основе обработанных данных, при котором модель находит связи, закономерности.
7. Оценка качества на тестовом наборе данных. Определение того, насколько модель хорошо работает с новыми данными.
8. Доработка модели. Для исключения, к примеру, признаков переобучения, для улучшения качества модели, её, при необходимости, требуется оптимизировать, подобрав лучшие комбинации гиперпараметров.
9. Интеграция и поддержка в реальной среде. С этого момента модель внедряется в производственную среду. При этом осуществляется мониторинг качества.

Проблемы в машинном обучении

Машинное обучение сопровождается рядом типичных проблем, которые могут негативно повлиять на качество модели [6]. А именно:

1. Переобучение.

Смысл переобучения заключается в том, что модель запоминает не только полезные закономерности в обучающих данных, но и шум, тем самым она начинает плохо справляться с новыми данными.

Чтобы снизить риск переобучения, можно использовать методы регуляризации, кросс-валидации, попробовать расширить обучающий набор новыми, разнообразными данными или же уменьшить число признаков, которые будут входить в обучающий набор.

2. Недообучение.

Смысл недообучения заключается в том, что в случае, если модель слишком простая или недостаточно настроена, она не может найти связи, закономерности в данных.

Для решения этой проблемы можно попробовать увеличить сложность модели, добавить важные признаки, которые могли быть упущены. Возможной причиной может стать регуляризация, если она будет слишком ограничивать обучение.

3. Смещение в данных.

В случаях, если данные были изначально искажены, модель впоследствии становится предвзятой, что приводит к некорректным решениям [7].

В таком случае может помочь анализ исходных данных, контроль за источниками информации. Также могут быть полезны алгоритмические методы коррекции смещения [8].

Глубокое обучение

Глубокое обучение – это область машинного обучения, использующая искусственные нейронные сети с большим числом скрытых слоёв. Такой подход позволяет моделям самостоятельно извлекать и обобщать сложные зависимости в данных. Как правило, первые слои определяют более простые признаки, а последние более сложные [9].

Глубокое обучение используется при решении различных задач, например в обработке речи, текста, видео, благодаря способности формировать многоуровневые абстракции.

Применение машинного обучения в различных сферах

На сегодняшний день машинное обучение нашло свое применение во многих сферах человеческой жизни. Одними из таких сфер являются:

1. Промышленность. При помощи машинного обучения в этой сфере проводится проверка качества продукции. Также осуществляется оценка работы промышленного оборудования для того, чтобы предотвратить их потенциальную поломку. То есть, модели анализируют сигналы от датчиков и прогнозируют, когда возможен отказ оборудования, снижая простои [10].
2. Логистика. Машинное обучение в области логистики помогает принимать компаниям правильные решения. Например, прогнозирование спроса и запасов на основе истории продаж, сезонности, прочих факторов, что поможет компании своевременно закупить и доставить необходимые товары.
3. Финансы. В этой сфере алгоритмы машинного обучения обучаются выявлять подозрительные транзакции по шаблонам поведения [11], что помогает определить мошеннические действия. Также модели используются для оценки кредитоспособности клиентов, исходя из различных факторов, что снижает риски для банка.
4. Маркетинг и продажи. Разработанные модели машинного обучения в этой сфере способны подбирать товары и услуги под интересы конкретного пользователя, анализируя их предпочтения, что приводит к увеличению конверсии и среднего размера заказа [12]. Также на основе поведения пользователя, модели определяют, какую рекламу показать в данный момент времени для наибольшей эффективности.

Преимущества и недостатки машинного обучения

На сегодняшний день машинное обучение ещё нельзя назвать идеальным. У него есть как свои преимущества, так и свои недостатки.

К сильным сторонам можно отнести:

1. Способность моделей машинного обучения обрабатывать огромные массивы данных, находя в них структуру, связи, закономерности, аномалии и т.д, что человек может не определить или не заметить.
2. Увеличение точности принятия решений в различных сферах. Примеры использования машинного обучения, рассмотренные ранее, тому доказательство.
3. Возможность автоматизации задач, снижая необходимость ручного труда, как показано в примере использования в маркетинге и продажах.

К недостаткам относятся:

1. Требовательность к данным, в том смысле, что они должны быть достаточно качественными и разнообразными, что влияет на последующую эффективность модели.
2. Проблемы с интерпретацией результата. Может происходить затруднение в понимании без помощи экспертов, непонятно, как модель пришла к определённому выводу, что может вызывать недоверие и затруднять отладку [13].
3. Высокая стоимость внедрения. Для разработки и внедрения моделей машинного обучения необходимы большие вычислительные мощности и квалифицированные специалисты, что может затруднять их внедрение для компаний.

Выводы

Машинное обучение сегодня оказывает значительное влияние на жизни людей, доказывая свою эффективность, помогая обрабатывать информацию, ускоряя процессы работы и открывая новые перспективы в различных сферах человеческой жизни.

Потенциал машинного обучения огромен, но пока что он не является близким к идеалу. У него есть ряд недостатков и проблем, которые пока что не дают ему заполнить жизнь людей ещё сильнее. Для решения некоторых его минусов, нужно стремиться развивать методы машинного обучения на небольшом количестве данных, разрабатывать модели, чьи решения можно будет интерпретировать без помощи экспертов.

Но, на данный момент, можно сказать, что роль машинного обучения в современном мире становится весомее, чем когда-либо.

Благодарность. Выражается благодарность преподавательскому составу Технического Университета Молдовы по программам “Machine Learning and Data Mining”, “Neural Networks and Deep Learning” за предоставление информации и содействию, необходимых для анализа, применения алгоритмов машинного обучения.

Библиография:

1. SURUR, F.M.; MAMO, A.A.; GEBRESILASSIE, B.G.; MEKONEN, K.A.; GOLDA, A.; BEHERA, R.K.; KUMAR, K. Unlocking the power of machine learning in big data: a scoping survey, *Data Science and Management* 2025, Journal Pre-proof, pp. 1-42, doi: <https://doi.org/10.1016/j.dsm.2025.02.004>
2. C. MUELLER, A.; GUIDO, S. *Introduction to Machine Learning with Python*, 1st ed.; O'Reilly Media: 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA 95472, USA, 2016, pp. 9-13.
3. “Что такое машинное обучение?” [Электронный ресурс]. Доступно: [\[link\]](#).

4. CHAPELLE, O.; SCHÖLKOPF, B.; ZIEN, A. *Semi-Supervised Learning*, The MIT Press: Cambridge, Massachusetts London, England, 2006, pp. 1-13.
5. “What is Reinforcement Learning?” [Электронный ресурс]. Доступно: [\[link\]](#).
6. C. MUELLER, A.; GUIDO, S. *Introduction to Machine Learning with Python*, 1st ed.; O'Reilly Media: 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA 95472, USA, 2016, pp. 36-55, 240-247.
7. “What is machine learning bias (AI bias)?” [Электронный ресурс]. Доступно: [\[link\]](#).
8. DANG, V.N.; CASCARANO, A.; MULDER, R.H.; CECIL, C.; ZULUAGA, M.A.; HERNANDEZ-GONZALEZ, J.; LEKADIR, K. Fairness and bias correction in machine learning for depression prediction across four study populations. *Scientific Reports* 14, 7848 (2024), doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-58427-7>
9. ALZUBAIDI, L.; ZHANG, J.; HUMAIDI, A.J.; AL-DUJAILI, A.; DUAN, Y.; AL-SHAMMA, O.; SANTAMARIA, J.; FADHEL, M.A.; AL-AMIDIE, M.; FARHAN, L. Review of deep learning: concepts, CNN architectures, challenges, applications, future directions. *Journal of Big Data* 8, 53 (2021), doi: <https://doi.org/10.1186/s40537-021-00444-8>
10. “How AI and robotics can help prevent breakdowns in factories — and save manufacturers big bucks” [Электронный ресурс]. Доступно: [\[link\]](#).
11. “At Mastercard, AI is helping to power fraud-detection systems” [Электронный ресурс]. Доступно: [\[link\]](#).
12. “Reflektion” [Электронный ресурс]. Доступно: [\[link\]](#).
13. FUNER, F. The Deception of Certainty: how Non-Interpretable Machine Learning Outcomes Challenge the Epistemic Authority of Physicians. A deliberative-relational Approach. *Medicine, Health Care and Philosophy* 2022, Vol. 25, pp.167–178, doi: <https://doi.org/10.1007/s11019-022-10076-1>

ANALIZA EFICIENȚEI LAYOUT-URILOR DE TASTATURĂ

Cătălin PLEȘU

Departamentul Ingineria Software și Automatică, grupa TI-241M, Facultatea Calculatoare, Informatică și
Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

*Autorul corespondent: Cătălin PLEȘU, catalin.plesu@isa.utm.md

Rezumat. În contextul utilizării intensive a tastaturilor în interacțiunea om-calculator, eficiența layout-urilor reprezintă un factor determinant pentru productivitate și sănătatea utilizatorilor, deși acest aspect este adesea neglijat. Acest studiu realizează o analiză comparativă a eficienței layout-urilor de tastatură existente, punând sub semnul întrebării justificarea popularității layout-ului QWERTY în era digitală actuală. Cercetarea evaluează performanța fiecărui layout prin trei parametri esențiali: distanța parcursă de degete, distribuția încărcării între degete și mâini. Pentru evaluare s-a utilizat un corpusul Newsgroup 20, totalizând peste 72 milioane de caractere sau 10 milioane de cuvinte. Rezultatele evidențiază diferențe semnificative între layout-uri, cu alternativele moderne demonstrând o reducere considerabilă a efortului fizic comparativ cu QWERTY, care rămâne predominant doar din motive istorice, nu datorită eficienței sale. Implementarea practică a acestor rezultate poate duce la reducerea riscului de leziuni prin încordare repetitivă la utilizatorii care petrec timp îndelungat la tastatură. Studiul furnizează date empirice pentru alegerea informată a layout-urilor în funcție de priorități specifice, stabilind un cadru metodologic aplicabil pentru evaluări similare în diverse contexte de utilizare.

Cuvinte cheie: interacțiune om-calculator, analiză comparativă, eficiență, layout-uri de tastatură, qwerty

Introducere

Tastaturile continuă să reprezinte principalul mijloc de interacțiune cu computerele și alte dispozitive digitale, în special în domenii precum munca de birou, programarea și comunicarea scrisă. Deși unele dispozitive moderne adoptă metode alternative de input, tastatura fizică rămâne standardul universal. Cu toate acestea, layout-ul QWERTY, conceput în secolul al XIX-lea pentru mașinile de scris mecanice, persistă ca normă, în ciuda numeroaselor alternative contemporane care promit performanță superioară și o ergonomie mai bună.

Problemele de ergonomie asociate tastării prelungite sunt bine documentate. Studiul realizat de Rempel et al. [1] a demonstrat că postura încheieturii mâinii influențează semnificativ presiunea în canalul carpian în timpul tastării, ceea ce poate contribui la apariția sindromului de tunel carpian și a altor afecțiuni musculo-scheletice. Acest tip de dovezi accentuează necesitatea optimizării nu doar a posturii și designului hardware, ci și a layout-ului tastelor, care determină direct traiectoriile degetelor și solicitarea lor repetitivă.

Scopul acestui articol este de a analiza comparativ eficiența mai multor layout-uri moderne față de QWERTY, având ca principal criteriu distanța și efortul fizic implicat în tastarea unui volum mare de text. Prin această abordare, se oferă date empirice relevante pentru luarea unor decizii informate privind alegerea unui layout mai eficient și mai sănătos pe termen lung.

Metodologie

Analiza a fost implementată în limbajul Python, utilizând Jupyter Notebook, și este împărțită în două fișiere notebook, disponibile public pe GitHub la adresa: <https://github.com/CatalinPlesu/analysis-of-the-efficiency-of-keyboard-layouts>.

Primul notebook are ca scop analiza unui set de date pentru a identifica detalii precise despre frecvența utilizării fiecărui caracter ce poate fi tipărit cu o tastatură — în general un subset din caracterele ASCII. A fost selectat corpusul 20 Newsgroups datorită accesibilității sale directe în Python prin biblioteca kagglehub. A fost scrisă o funcție care calculează numărul total de cuvinte și caractere din corpus, identifică apariția fiecărui caracter și filtrează doar caracterele vizibile, imprimabile cu o tastatură standard.

Un pas suplimentar a constat în unificarea frecvențelor pentru literele majuscule și minuscule, astfel încât să fie redusă redundanța. Această etapă permite și estimarea frecvenței de utilizare a tastei Shift. În urma procesării, este afișat fie numărul absolut de apariții al fiecărui caracter, fie frecvența relativă exprimată în procente.

Al doilea notebook aplică modelul de frecvență obținut anterior pentru a evalua eficiența diferitelor layout-uri de tastatură. A fost scris un modul care poate parsa și afișa un layout fizic de tastatură conform formatului utilizat pe platforma Keyboard Layout Editor[2], asigurând astfel interoperabilitate și extensibilitate pentru layout-uri viitoare. A fost preluat un layout fizic de tip ANSI de pe platformă, adaptat pentru a include doar caracterele alfabeticе esențiale.

Modelul fizic este structurat astfel încât fiecărei taste i se asociază un cod identificabil, ulterior fiind completat cu layout-ul logic corespunzător reprezentat ca listă. Pentru această cercetare s-au selectat mai multe layout-uri alternative față de QWERTY: Colemak [3], Minimak [4], Norman [5], Dvorak [6], Workman [7] și Asset [8], layout-uri bine documentate și susținute de comunități active.

S-a dezvoltat un algoritm care calculează distanța parcursă de degete în mod dinamic, pe baza poziției inițiale a degetelor și a tastelor apăsatе de acestea. Inițial, distanțele sunt exprimate în unități U, apoi convertite în milimetri și kilometri. Fiindcă modelul de calcul este generalizat, acesta poate fi aplicat și altor configurații fizice ale tastaturii.

Pentru fiecare layout, a fost calculată distanța totală parcursă de degete pentru a scrie întregul corpus și convertită în kilometri, valorile fiind semnificative. Această distanță este interpretată ca indicator de efort fizic, unde valoarea minimă reprezintă efortul optim (100%), iar celelalte layout-uri sunt comparate relativ: $\text{efort} = (\text{actual} / \text{minim})$. Alternativ, aceeași valoare poate fi interpretată ca eficiență inversă: $\text{eficiență} = (\text{minim} / \text{actual})$.

În plus, pentru fiecare layout s-a generat o reprezentare grafică sub formă de heatmap care evidențiază tastele cele mai frecvent apăsatе prin intensitatea culorii, oferind o perspectivă vizuală asupra distribuției efortului de tastare.

Rezultate și discuții

Fig. 1 prezintă frecvențe relativă a apariției caracterelor în textul analizat. Cele mai des întâlnite 10 litere sunt **e, t, o, a, i, n, s, r, h** și **l**. Putem intui că layout-urile în care aceste tase sunt mai accesibile vor fi mai eficiente.

Utilizând frecvența absolută a apariției fiecărui caracter și poziția acestora pe layout-urile analizate s-a estimat distanța care ar fi parcursă de degete pentru a scrie setul de texte analizat.

Distanțele sunt următoarele:

- COLEMAK: 1146.36 km;
- ASSET: 1154.90 km;
- WORKMAN: 1160.91 km;
- NORMAN: 1161.42 km;
- DVORAK: 1171.71 km;
- MINIMAK: 1196.62 km;
- QWERTY: 1517.01 km.

Deși setul de date analizat a fost destul de mic, distanțele respective par destul de semnificative.

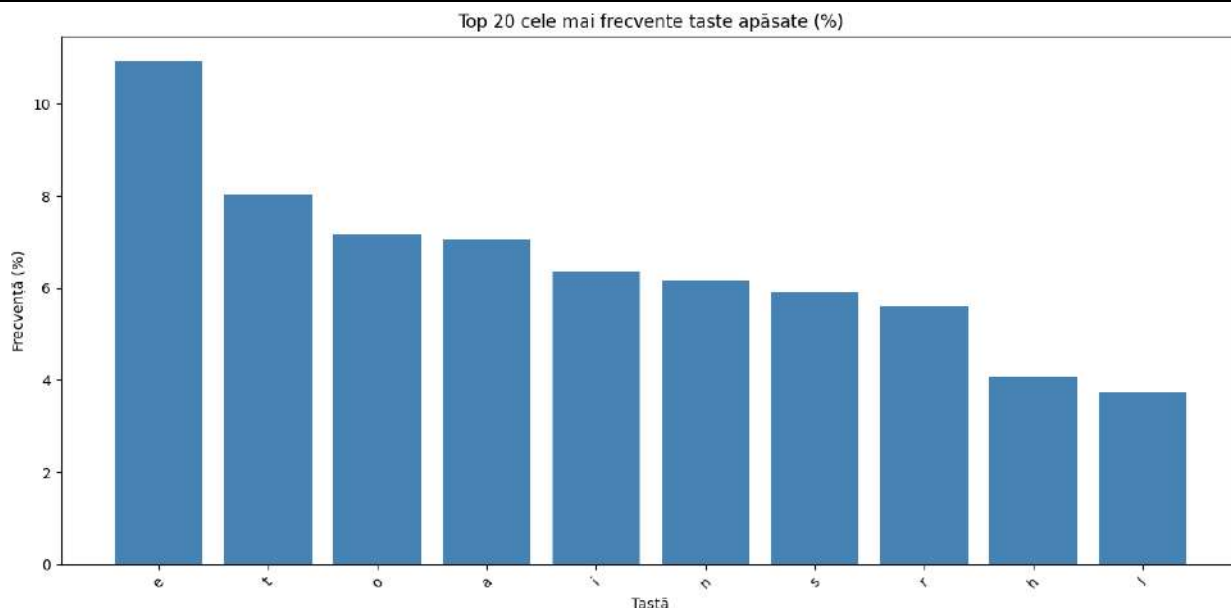


Figura 1. Frecvența relativă a celor mai utilizate 10 taste

În Fig. 2 este redat efortul depus pentru fiecare layout pentru a scrie textele respective, raportat la efortul minim (100%). QWERTY necesită cel mai mult efort relativ (132.33%), urmat de MINIMAK și DVORAK. Cele mai eficiente, cu valori apropiate de 100% pe lângă COLEMAK sunt ASSET și WORKMAN.

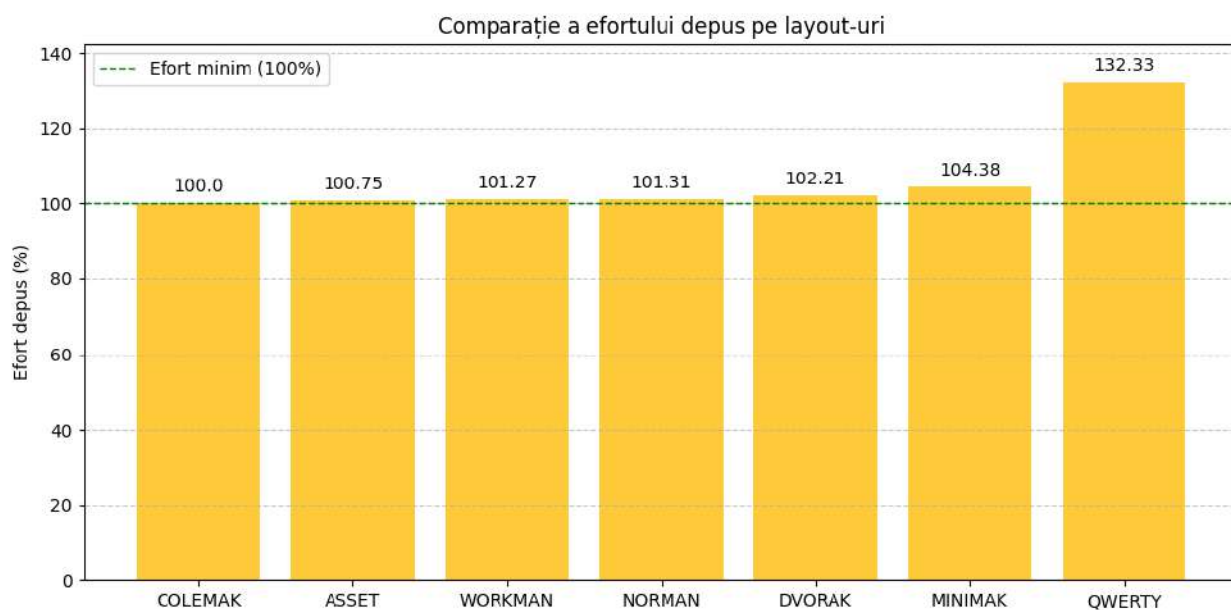


Figura 2. Comparația efortului depus pe layout-urile analizate

Fig. 3 reflectă eficiența layouturilor, având din nou COLEMAK ca referință (100%). QWERTY este cu mult sub celelalte layout-uri, atingând doar 75.57%. Restul layout-urilor variază între 95% și 99%. În afară de QWERTY toate layout-urile au o eficiență destul de asemănătoare trecerea la oricare dintre ele la Colemak nu pare justificată în acest caz. Singurul lucru care este sigur este că pare o alegere bună să se treacă de la QWERTY la Colemak pentru persoanele care doresc o să tasteze cu o eficiență mai bună.

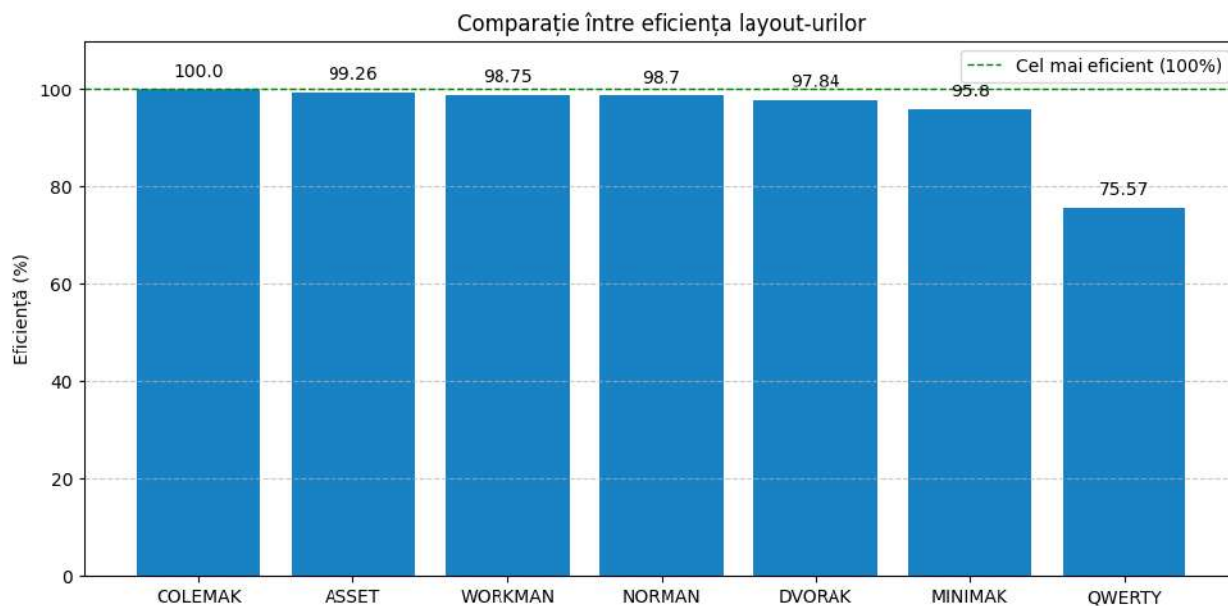


Figura 3. Comparația eficienței layout-urilor analizate

Fig. 4 și Fig. 5 reprezintă harta termică a layout-urilor QWERTY și Colemak. După cum poate fi observat pe layout-ul QWERTY tastele cele mai des utilizate nu sunt centrate pe rândul de bază (asdfghjkl;) ceea ce i-a redus considerabil eficiența. Pe când în cadrul layout-ului Colemak dar și celelalte alternative este bine evidențiat faptul că tastele cele mai frecvente au fost centrate pe rândul de bază.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	-	=	BACKSPACE
TAB	Q	W	E	R	T	Y	U	I	O	P	[	]	\
CAPS LOCK	A	S	D	F	G	H	J	K	L	;	'		ENTER
SHIFT	Z	X	C	V	B	N	M	,	.	/			SHIFT
CTRL	WIN	ALT	SPACE							ALT	WIN	MENU	CTRL

Figura 4. Layout-ul QWERTY – hartă termică

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	-	=	BACKSPACE
TAB	Q	W	F	P	G	J	L	U	Y	;	[	]	\
BACKSPACE	A	R	S	T	D	H	N	E	I	O			ENTER
SHIFT	Z	X	C	V	B	K	M	,	.	/			SHIFT
CTRL	WIN	ALT	SPACE							ALT	WIN	MENU	CTRL

Figura 5. Layout-ul Colemak – hartă termică

Interpretând datele, putem afirma că layout-ul QWERTY este într-adevăr destul de inefficient în comparație cu alternativele moderne. Pentru utilizatorii care pot tasta folosind tehnica touch typing, ar putea fi justificată trecerea la un layout alternativ, mai eficient.

Totuși, există mai multe incertitudini legate de modelul utilizat pentru evaluarea eficienței. Acesta este unul simplificat, bazându-se exclusiv pe distanța parcursă de degete în timpul tastării. Un astfel de model ignoră timpul real, exprimat în secunde, care nu este nul nici măcar atunci când distanța este zero. Prin urmare, includerea timpului efectiv în model ar putea oferi o estimare mai realistă. De asemenea, o direcție de îmbunătățire ar fi identificarea unei distribuții optime a efortului între degetele unei mâini, având în vedere că degetul mic, de exemplu, este mai slab decât celelalte. În plus, luând în calcul posibilitatea tastării simultane a mai multor caractere, modelul ar putea fi extins pentru a reflecta mai bine realitatea.

Rezultatele sugerează că layout-ul QWERTY nu mai corespunde cerințelor actuale, în care se dorește o interacțiune cu calculatorul cât mai rapidă și fără efort. Se conturează și o implicație interesantă: toate layout-urile analizate par să atingă o limită de eficiență similară, cu variații de aproximativ $\pm 5\%$, ceea ce indică existența unui posibil prag structural peste care eficiența nu mai poate fi crescută semnificativ.

Pentru viitor, ar fi utilă dezvoltarea unui model mai avansat de evaluare a eficienței, care să integreze timpii de tastare, efortul muscular, distribuția sarcinii între degete și posibilitățile de tastare paralelă. Totodată, ar merita explorată generarea de noi layout-uri optimizate pentru contexte particulare, precum programarea sau redactarea în alte limbi.

Concluzii

Analiza arată că layout-ul QWERTY este inefficient comparativ cu alternative moderne precum Colemak, Asset și Workman, care reduc efortul fizic prin scurtarea distanței parcurse de degete. Aceste layout-uri pot crește productivitatea și preveni afecțiuni musculo-scheletice. Modelul folosit are limitări, neincluzând timpul de tastare sau efortul muscular, deci sunt necesare metode mai avansate. Pentru o experiență mai eficientă și sănătoasă, trecerea de la QWERTY la un layout modern este recomandată, iar viitoarele cercetări trebuie să adapteze optimizările contextelor de utilizare.

Referințe

1. REMPEL, D.M.; KEIR, P.J.; BACH, J.M. Effect of Wrist Posture on Carpal Tunnel Pressure While Typing. *J Orthop Res* 2008, 26 (9), pp. 1269–1273. <https://doi.org/10.1002/jor.20599>.
2. Keyboard Layout Editor. <https://www.keyboard-layout-editor.com/> (accesat la data de 14 Mai 2025).
3. Colemak. <https://colemak.com/> (accesat la data de 14 Mai 2025).
4. Minimak - Home. <http://www.minimak.org/> (accesat la data de 14 Mai 2025).
5. Norman layout | 46% less effort than QWERTY. <https://normanlayout.info/index.html> (accesat la data de 14 Mai 2025).
6. The Dvorak Keyboard |. The Dvorak Keyboard. <https://dvorak-keyboard.com> (accesat la data de 14 Mai 2025).
7. Workman Keyboard Layout. <https://workmanlayout.org/> (accesat 2025-05-14).
8. Qwerty, Dvorak and the Asset Keyboard. <https://millikeys.sourceforge.net/asset/> (accesat la data de 14 Mai 2025).

ANALIZA COMPARATIVĂ A PYSPARK, DASK ȘI POLARS PENTRU PRELUCRAREA DISTRIBUITĂ A DATELOR

Mihai COȘLEȚ, Margarita MARFOI,

*Departamentul Informatică și Ingineria Sistemelor, grupa SD-231M, Facultatea Calculatoare, Informatică și
Microelectronică, Universitatea Tehnică A Moldovei*

Autorul corespondent: Margarita MARFOI, mmarfoi@griddynamics.com

Îndrumătorul/coordonatorul științific **Cristofor FISTIC**, asistent universitar,
Universitatea Tehnică a Moldovei

Rezumat. *Procesarea distribuită a datelor a devenit din ce în ce mai critică pe măsură ce volumele de date continuă să crească exponențial în domeniile științifice și comerciale. Această cercetare prezintă o analiză comparativă cuprinzătoare a trei librării proeminente: PySpark, Dask și sistemul emergent Polars. Cercetarea a utilizat o abordare mixtă a metodelor care combină analiza comparativă cantitativă cu evaluarea calitativă a experienței dezvoltatorilor, utilizând configurații hardware consecvente în clustere de calcul bazate pe cloud și cazuri de testare care încorporează atât seturi de date structurate, cât și nestructurate, variind de la 50 GB la 2 TB.*

Cuvinte cheie: *Distributed Computing, Big Data Processing, Python, ETL Tools*

Introducere

Întreprinderile și cercetătorii moderni se confruntă cu volume din ce în ce mai mari de date, ceea ce determină o nevoie critică de soluții scalabile și eficiente de prelucrare a datelor. Previziunile recente din industrie subliniază această creștere explozivă - de exemplu, se estimează că volumul global de date va ajunge la 181 zettabytes până în 2025 [1]. Instrumentele tradiționale de date pentru o singură mașină cum ar fi biblioteca Pandas din Python sunt adesea incapabile să gestioneze o astfel de scară din cauza limitărilor de memorie și de performanță. Acest decalaj a alimentat creșterea librăriilor de calcul distribuit care pot valorifica grupuri de mașini pentru a procesa în paralel seturi mari de date. PySpark, Dask și Polars exemplifică acest spectru de soluții. Spark reprezintă motorul distribuit clasic dovedit la scară de terabyte, Dask oferă o abordare Python-nativă mai ușoară pentru paralelizarea fluxurilor de lucru, iar Polars demonstrează ce poate realiza un motor de analiză modern, optimizat pentru un singur nod. Importanța crescândă a volumului, varietății și vitezei datelor constituie fundalul acestui studiu comparativ al acestor trei cadre.

Analiza bibliotecilor

PySpark este interfața Python pentru Apache Spark, aducând puternicul motor de calcul distribuit Spark în ecosistemul Python. Apache Spark în sine este un motor analitic unificat open-source conceput pentru prelucrarea datelor pe scară largă. Acesta a fost dezvoltat inițial în 2009 la AMPLab din cadrul UC Berkeley ca proiect de cercetare pentru generalizarea paradigmei MapReduce și depășirea ineficiențelor acesteia. Creatorii Spark au identificat faptul că multe aplicații de analiză a datelor erau blocate de modelul MapReduce rigid, legat de disc, care scria rezultatele intermediare pe disc între fiecare trecere. Pentru a rezolva această problemă, Spark a introdus o abstractizare a datelor în memorie numită RDD (Resilient Distributed Datasets) [2], care a permis păstrarea seturilor de date în memorie de-a lungul iterațiilor și reconstruirea lor din mers în cazul pierderii unei partiții. Această inovație a permis Spark să ruleze anumite sarcini de lucru cu până la 100× mai rapid decât MapReduce [3] în primele experimente, asigurând în

același timp toleranța la erori prin descendența RDD. Arhitectura Spark se axează pe un program driver care orchestrează munca și nodurile worker care execută sarcini în paralel într-un cluster, urmând un graf aciclic direcționat (DAG) de operațiuni pentru a optimiza planificarea execuției. Până în 2014, Spark a devenit un proiect Apache de nivel înalt și o platformă dominantă de big data, care se bucură de o mare încredere în industrie.

Dask este o bibliotecă de calcul paralel pentru Python care permite utilizatorilor să-și mărească procesarea datelor de la o mașină la mai multe sau să utilizeze mai multe nuclee pe o singură mașină, cu modificări minime ale codului Python existent. Dask funcționează pe principiul programării dinamice a sarcinilor [4]. Atunci când se efectuează calcule utilizând Dask (fie că este vorba de o operație DataFrame, de un calcul de matrice sau de un flux de lucru personalizat), Dask împarte sarcinile în mai multe sarcini mici și construiește un graf de sarcini - în esență, un DAG de operații similar în concept cu cel al Spark, dar adesea la o granularitate mai fină. Un programator central coordonează apoi executarea acestor sarcini pe resursele disponibile. Într-o configurație cu o singură mașină, programatorul poate genera mai multe fire sau procese pentru a utiliza toate nucleele. Într-un cadru distribuit, se poate lansa un cluster Dask cu un nod de planificare și mai multe noduri de lucru - modelul de programare rămâne același, dar sarcinile sunt distribuite lucrătorilor prin rețea. Această flexibilitate permite Dask să se extindă cu ușurință de la laptopuri la grupuri. După cum se arată în documentația Dask, „Dask este o bibliotecă Python pentru calcul paralel și distribuit” care este ușor de configurat, dar puternică în ceea ce privește scalarea.

Polars este o librărie relativ nouă în domeniul procesării datelor, reprezentând o abordare nouă care acordă prioritate performanței brute și designului modern pentru analiza datelor tabulare. Caracteristicile arhitecturale ale Polars îl diferențiază de PySpark și Dask. Polars utilizează Apache Arrow [5] ca model de memorie. Arrow oferă un format standardizat columnar în memorie, care este foarte eficient pentru volumele de lucru analitice, deoarece datele pentru fiecare coloană sunt stocate contiguu în memorie îmbunătățind performanța cache-ului CPU și deoarece permite schimbul de date cu zero copii între sisteme. Prin adoptarea formatului columnar al Arrow, Polars se poate interfața fără probleme cu alte instrumente bazate pe Arrow și poate evita conversiile costisitoare de date. Polars este optimizat pentru performanță pe un singur nod. Acesta profită de siguranța și concurența din Rust pentru a paraleliza operațiile pe toate nucleele CPU disponibile, fără supraîncărcarea comunicării între procese care ar fi prezentă într-un sistem distribuit sau într-o abordare multiproces.

Metode de analiza comparativă

Testele de referință au fost efectuate pe Google Colab v28 echipată cu 96 vCPU (Intel Xeon @2,00 GHz). Mediul software include Python 3.11.12 și bibliotecile PySpark, Dask, Polars. PySpark a fost rulat în modul local, Dask a fost rulat pe un cluster local pe mai multe fire, Polars funcționează într-un singur proces pe mai multe fire. Setul de date real „FHVHV Trip Record Data” din 2023, publicat de New York City Taxi and Limousine Commission (TLC) [6], a fost utilizat pentru evaluarea comparativă. Setul de date conține 74 951 524 de înregistrări și 24 de coloane, reprezentând un caz din lumea reală de big data urbană, cu informații privind călătoriile cu vehicule de închiriat, inclusiv mărci temporale, locație geografică, identificatori ai vehiculului/șoferului și metrici de serviciu.

Pentru a evalua performanța celor trei librării, a fost construit o conductă ETL (extracție, transformare, încărcare). Scopul a fost de a simula un flux de lucru tipic în analiza datelor mari. În faza de extracție, datele au fost citite din fișiere Parquet care conțineau cursele de vehicule de închiriat în orașul New York în 2023. A fost efectuată încărcarea efectivă pentru a măsura timpul și memoria necesare fiecărui sistem pentru a citi și pregăti datele. Transformarea a inclus câteva operațiuni comune în analiză: mai întâi, au fost filtrate doar cursele cu o distanță mai mare de o milă și un tarif mai mare de cinci dolari. Apoi, datele au fost agregate în funcție de companie și de zona de plecare, calculându-se câte călătorii au fost efectuate, tarifele totale, distanța medie și

durata medie a călătoriilor. În cele din urmă, companiile au fost clasificate în trei grupuri: uber, lyft și altele, iar aceste informații au fost combinate cu rezultatul agregat. În etapa finală, datele transformate au fost salvate din nou pe disc în format Parquet. Fiecare execuție a fost repetată de trei ori pentru fiecare librărie, folosind aceleași date, pentru a asigura o comparație corectă.

Table 1

Prezentarea timp mediu pentru fiecare faza

Fază	polars	spark	dask
read_lazy	0.000152s	0.055141s	0.003501s
read_compute	9.518035s	5.108299s	0.015019s
transform_lazy	0.000335s	0.119218s	0.025481s
transform_compute	41.249000s	21.230826s	8.495141s
write_compute	0.001563s	0.002152s	0.004458s

Pentru fiecare etapă, au fost măsurate timpul de execuție și consumul de memorie. Timpul a fost măsurat cu ajutorul librăriei *time*, calculând durata dintre începutul și sfârșitul operației. Consumul de memorie a fost determinat prin evaluarea diferenței dintre memoria utilizată la începutul și la sfârșitul fiecărei faze.

Rezultatele analizei comparative

În timpul fazelor leneșe - citirea fără materializare și definirea conductei - latențele măsurate sunt neglijabile în toate librăriile, de obicei sub 0,2 ms pentru Polars, sub 20 ms pentru Dask și sub 60 ms pentru Spark. Acest lucru confirmă faptul că planificarea logică implică cheltuieli minime. În schimb, fazele de declanșare a calculului domină timpul total de execuție. Pentru ingestia eager, Polars necesită în medie 9,5 s ($\pm 0,13$ s), Dask sub 0,004 s după ce a fost pus în cache, iar Spark aproximativ 5,1 s ($\pm 0,01$ s). Pentru transformarea de bază - filtrarea călătoriilor de peste o milă și a tarifelor de peste 5 \$, gruparea în funcție de numărul de licență și locația de preluare, calcularea numărului, a sumei și a mediilor, construirea unei dimensiuni de tip licență și efectuarea unui join -olars consumă în medie 41,3 s ($\pm 1,0$ s), Spark 21,2 s ($\pm 0,1$ s), iar Dask 8,5 s ($\pm 8,9$ s) pe parcursul iterațiilor (abaterea standard ridicată pentru Dask reflectă un cost de „încălzire” mai mare în prima rulare). În cele din urmă, scrierea rezultatelor înapoi în Parquet este efectiv instantanee în toate cazurile (< 6 ms). Măsurătorile delta memorie oferă informații suplimentare. Ingestia materializată a Polars crește RSS (*Resident Set Size*) cu aproximativ 110-180 MB, reflectând reprezentarea sa columnară în proces. Etapele de ingestie și transformare ale Spark cresc RSS cu aproximativ 50-90 MB, deși heap-ul mașinii virtuale Java - care nu este complet vizibil pentru psutil - poate consuma memorie suplimentară. Dask prezintă modificări minime ale RSS (< 2 MB), deoarece programatorul și lucrătorii săi gestionează memoria în afara procesului Python principal.

Aceste constatări sugerează compromisuri distincte. Polars nu prezintă practic niciun cost suplimentar de planificare și excelează în aplicațiile în care definițiile interogărilor trebuie construite cu o latență minimă; cu toate acestea, strategia sa de execuție cu un singur fir generează cel mai ridicat cost de calcul pentru agregările mari. Spark oferă un profil echilibrat, cu o latență de planificare moderată și o execuție distribuită bine reglată, chiar și pe un singur nod, ceea ce îl face atractiv pentru volumele de lucru care vor fi în cele din urmă scalate pe clustere. Dask demonstrează cea mai rapidă transformare de la un capăt la altul odată ce graficul de sarcini este inițializat, ceea ce îl face potrivit pentru analize iterative sau incrementale; cu

toate acestea, variabilitatea primei execuții și dependența de un programator bazat pe Python pot introduce impredictibilitate pentru seturile de date foarte mari.

Concluzie

Alegerea celei mai potrivite librării depinde în mare parte de contextul de operare: Polars este ideală pentru analiza rapidă și locală a seturilor mari de date, Dask pentru scenarii flexibile și modulare într-un mediu Python iar PySpark pentru prelucrarea distribuită la scară largă, unde sunt necesare instrumente avansate și pentru infrastructuri complexe.

Referințe:

1. Amount of Data Created Daily (2025). Disponibil online: <https://explodingtopics.com/blog/data-generated-per-day> (accesat la 30 mai 2025).
2. What Is a Resilient Distributed Dataset (RDD)? Disponibil online: <https://www.ibm.com/think/topics/resilient-distributed-dataset> (accesat la 30 mai 2025).
3. Research | Apache Spark. Disponibil online: <https://spark.apache.org/research.html> (accesat la 30 mai 2025).
4. Dask — Dask documentation. Disponibil online: <https://docs.dask.org/en/stable/> (accesat la 30 mai 2025).
5. Polars user guide. Disponibil online: <https://docs.pola.rs/#key-features> (accesat la 30 mai 2025).
6. TLC Trip Record Data. Disponibil online: <https://www.nyc.gov/site/tlc/about/tlc-trip-record-data.page> (accesat la 30 mai 2025).

AI IN SOFTWARE ENGINEERING

Dinu PLEȘU*, Dragoș NEDELEA, Ion DULGHERU

Department of Software Engineering and Automation, group FAF-241, Faculty of Computers, Informatics and Microelectronics, Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova

*Corresponding author: Dinu Pleșu, dinu.plesu@isa.utm.md

Abstract. *Artificial Intelligence (AI) is transforming software testing, development, and education by enhancing automation, optimizing debugging, and enabling adaptive learning. In software testing, AI-driven tools improve test case selection and streamline debugging by identifying patterns in code and suggesting precise fixes. Machine learning models enhance vulnerability detection, improving security in enterprise environments. In development, AI-powered assistants such as GitHub Copilot automate coding tasks, accelerating software production and reducing errors. AI-driven refactoring tools optimize legacy code, increasing maintainability and scalability. Additionally, AI is revolutionizing software engineering education through personalized learning environments, real-time feedback, and automated tutoring systems, making programming more accessible and efficient. By integrating AI into these domains, the software industry achieves higher accuracy, reduced costs, and improved learning outcomes. This paper explores the impact of AI on software engineering, highlighting its role in reshaping testing methodologies, development practices, and educational approaches.*

Keywords: *adaptive learning, automation tools, debugging techniques, machine learning, test optimization, quality assurance*

Introduction

Artificial Intelligence includes a wide range of technologies and approaches aimed at creating various machines that can perform tasks requiring human intelligence []. From its early days, when AI was focused on rule-based systems and symbolic reasoning, to the current popularity and dominance of machine learning and deep learning, the field has witnessed tremendous growth. AI's applications span various sectors, from autonomous vehicles and healthcare to finance and entertainment. The contemporary field of AI is dominated by deep learning, a subset of machine learning that uses neural networks inspired by the human brain's structure. Deep learning has pushed AI into new levels of capability, enabling it to excel in tasks such as image recognition, natural language processing, and complex decision-making. Technologies like convolutional neural networks (CNNs) and recurrent neural networks (RNNs) have become the foundation of the AI toolkit, enabling breakthroughs in various domains.

Software Testing and Quality Assurance

In contemporary professional environments, software testing practitioners are increasingly required to possess coding proficiency to engage in test automation. A critical competency demanded of those who engage in coding is the capacity to implement code refactoring, a highly regarded quality aspect within software development. However, software developers frequently encounter impediments in the effective application of this practice.

Software testing, a critical component of quality assurance in software development, encompasses both manual and automated approaches. While manual testing ensures thorough examination, automation enhances efficiency, reducing time and costs in the dynamic landscape of software development. Test automation is essential for agile software projects to facilitate frequent delivery of functional software with minimal expenditure of time and resources, as well as reduced defects. The strategic selection of test cases for automation emerges as a cost-

effective practice. However, selecting the appropriate automated testing tool is considered challenging due to the wide range of existing tools, which are specialized for specific programming languages [2].

A qualitative analysis of debugging strategies employed by novice Java programmers is presented. The study found that many novices identified and rectified bugs using strategies such as tracing, commenting out code, implementing diagnostic print statements, conducting methodical testing, utilizing online resources, and employing debuggers. Additionally, some programmers utilized pattern matching to detect errors in code that appeared incongruous. Through an analysis of the debugging process utilized by experienced programmers, four distinct tasks were consistently observed: determining statements involved in program failures, selecting suspicious statements that might contain faults, formulating hypotheses about suspicious faults (variables and locations), and restoring program state to a specific statement for verification. A method for semi-automatic bug localization, termed generalized algorithmic debugging, was developed to enable debuggers to highlight suspicious statements, thereby confining the search domain to a small region. This method is expected to significantly reduce human interaction time and aid in the debugging of complex software. Furthermore, it aims to address ineffective behaviours and promote effective debugging activities, ultimately assisting in the rectification of poorly structured code [3].

The emergence of Large Language Models has provided novel approaches for addressing downstream text classification tasks, such as vulnerability prediction, wherein segments of source code are classified as vulnerable or non-vulnerable. As the proliferation of Internet of Things devices continues to increase in enterprise environments, the necessity for effective and efficient security measures becomes increasingly critical. To enhance security, Long Short-Term Memory and Gradient Boosting Machine models, which predict attack patterns that could potentially exploit these vulnerabilities, are utilized. When evaluated on a dataset curated from the National Vulnerability Database and publicly accessible IoT data sources, these models demonstrate high accuracy and reliability. In certain real-world vulnerability prediction scenarios, the performance of deep learning-based methods decreases by more than 50% compared to these methods' performance in experimental scenarios [4]. Using Large Language Models, exploiting vulnerabilities will become harder.

AI & Software Engineering Education

Artificial Intelligence (AI) is reshaping the landscape of software engineering education. As industries increasingly rely on AI-driven solutions, the demand for software engineers who understand machine learning, automation, and data-driven development continues to rise. Traditional software engineering education, which primarily focuses on algorithms, programming languages, and system architecture, is evolving to incorporate AI concepts that enhance problem-solving, optimize development processes, and create intelligent applications. AI-powered tools are transforming the way students learn, develop, and innovate. From automated code generation to intelligent debugging and adaptive learning platforms, AI is not just a subject of study but also a crucial assistant in mastering software engineering. Integrating AI into education presents new opportunities for personalized learning, improved efficiency, and the development of future-ready engineers while also raising challenges in curriculum design and ethical considerations.

Artificial intelligence (AI) is revolutionizing how programming is taught by making the learning experience more personalized, efficient, and engaging. Traditional methods of teaching programming often rely on textbooks, predefined course material, and static exercises, which may not cater to individual learning styles or pace. AI-powered tools and platforms are changing this dynamic by offering adaptive learning environments that tailor instruction based on the learner's progress and needs. For instance, AI systems can analyze a student's coding mistakes and offer real-time suggestions, helping them correct their errors and learn more effectively [5].

Moreover, AI-driven tutoring systems can provide immediate feedback, which accelerates the learning process. This instant feedback loop helps students understand concepts quickly and avoid common pitfalls. AI also makes it easier to learn at scale, enabling large groups of students to receive individualized instruction without the need for more human instructors. AI-based chatbots and virtual assistants can answer student queries, provide resources, and even assist with debugging code, making programming education more accessible and interactive.

Artificial Intelligence (AI) is not only transforming traditional educational approaches but is also paving the way for more sustainable and inclusive learning environments. In software engineering education, AI is facilitating the creation of virtual classrooms that transcend geographical barriers, enabling students from diverse backgrounds to access quality education. These virtual platforms harness AI to translate content into multiple languages, ensuring inclusivity and diversity in learning processes. Furthermore, AI is instrumental in developing eco-friendly learning solutions that reduce the need for physical resources, thereby decreasing the carbon footprint of educational institutions. As AI continues to advance, it is expected to play a crucial role in preparing students to tackle global challenges through innovative and sustainable solutions, emphasizing the importance of ethical considerations and responsible AI practices in educational curricula. By bridging the gap between theoretical knowledge and practical application, AI-powered education is preparing a new generation of software engineers who are not only technically proficient but also socially conscious and environmentally aware [6][7].

AI-powered learning platforms are transforming education by leveraging advanced algorithms to offer personalized learning experiences. These platforms go beyond standard one-size-fits-all approaches, using machine learning to analyze student data, including learning patterns, pace, strengths, and areas for improvement. Based on this data, they provide custom-tailored lesson plans, exercises, and feedback, allowing students to progress at their own pace and focus on areas where they need more practice. Some AI-driven platforms also include gamification elements, such as badges, leaderboards, and achievements, which enhance student engagement and motivation [8].

AI-Driven Development

Artificial intelligence is fundamentally reshaping the way developers approach software development, introducing new levels of efficiency, accuracy, and automation. AI-powered tools are not only assisting with code generation but also revolutionizing debugging and refactoring processes. These advancements enable developers to write cleaner, more efficient code while reducing time spent on repetitive or error-prone tasks.

AI-powered coding assistants like GitHub Copilot and ChatGPT are changing how developers write software by providing real-time code suggestions, autocompleting functions, and even generating entire scripts based on minimal input. These tools analyze vast datasets of open-source code and programming patterns to predict and suggest the most relevant code snippets, reducing development time significantly. By eliminating much of the manual coding work, developers can focus more on architecture, problem-solving, and innovation. Furthermore, AI-assisted coding is lowering the barrier for entry into programming, allowing beginners to learn faster and experienced developers to work more efficiently [1].

One of the most time-consuming aspects of software development is debugging, but AI is making this process more efficient. AI-driven tools can analyze vast amounts of code to identify patterns associated with common bugs, vulnerabilities, and security risks. By leveraging machine learning and static code analysis, these tools not only detect issues but also suggest precise fixes, reducing the time spent troubleshooting. Some AI-powered platforms can even automate test case generation, ensuring that new code integrates smoothly without introducing errors. As a result, software quality improves, and development cycles become shorter, enabling faster releases with fewer defects [9].

AI's impact on software development is also extending into project management and collaboration. Advanced AI algorithms are being integrated into project management tools, enhancing task allocation, progress tracking, and resource management through predictive analytics. By analyzing historical project data and team performance metrics, these systems can predict potential bottlenecks and suggest optimized workflows, ensuring that projects run smoothly and on schedule. Additionally, AI facilitates seamless collaboration by automating communication tasks, summarizing meeting notes, and even managing documentation, freeing up developers to concentrate on core development activities. This leads to improved team productivity and better alignment with project goals, ultimately delivering higher quality software products to market faster.

Legacy code can be difficult to maintain and optimize, often leading to technical debt and inefficiencies. AI-powered refactoring tools help developers restructure existing codebases by improving readability, performance, and maintainability without altering functionality. By analyzing best practices and modern coding standards, these AI-driven solutions recommend improvements such as reducing redundant code, enhancing function modularity, and optimizing database queries. This not only makes the codebase easier to work with but also enhances scalability and future-proofing, ensuring that applications remain adaptable to evolving technology trends.

As AI-driven development continues to advance, it is redefining the role of developers by shifting the focus from routine coding tasks to higher-level decision-making, problem-solving, and innovation. AI is not replacing developers but rather augmenting their capabilities, making software engineering more efficient, accessible, and error-resistant than ever before [10].

Conclusions

Artificial Intelligence is profoundly transforming various facets of software testing, development, and education by infusing automation, enhancing debugging efficiency, and elevating learning experiences. In the realm of software testing, AI-powered tools are revolutionizing the way test cases are selected, enabling more streamlined and efficient testing processes. This results in a significant reduction of time and effort required to ensure software reliability and performance. Debugging, a crucial aspect of software development, is experiencing a paradigm shift as AI optimizes strategies to identify and correct errors more swiftly and accurately, thereby improving overall software quality. Additionally, AI facilitates software refactoring, a process that enhances code structure without altering its functionality, making development not only faster but also more robust and adaptable to change. In the educational sector, AI's impact is equally transformative with the advent of adaptive learning platforms and AI-driven tutoring systems that personalize instruction based on individual learning paces and styles. These technologies are accelerating skill acquisition, preparing future software engineers with more targeted and effective learning experiences. As AI technology continues to evolve and integrate deeply into the field of software engineering, it is anticipated to spearhead unprecedented levels of efficiency, innovation, and accessibility. This evolution is poised to redefine industry standards, introducing new benchmarks for quality and performance. However, alongside these advancements, AI integration presents new challenges and opportunities, compelling the industry to adapt and evolve continuously. The seamless integration of AI into software engineering is not just a trend but a necessity for staying competitive in a rapidly changing technological landscape, ultimately reshaping the future of the industry.

References

1. YETIȘTIREN, B., ÖZSOY, I., AYERDEM, M., & TÜZÜN, E. Evaluating the Code Quality of AI-Assisted Code Generation Tools: An Empirical Study on github Copilot, Amazon codewhisperer, and chatgpt ,2023. [online]. [accessed 01.03.2025]. Disponibil: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.10778>

2. DUDEKULA & MOSES, KATAM & PETERSEN, KAI & MÄNTYLÄ, MIKA. Benefits and limitations of automated software testing: Systematic literature review and practitioner survey. In: 7th International Workshop on Automation of Software Test, AST 2012 – Proceedings, pp.36-42.
3. M. DECASSE AND A.-M. EMDE, A review of automated debugging systems: knowledge, strategies and techniques, Proceedings. In: 11th International Conference on Software Engineering – 1989, Singapore: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 11-15 April 1988, 1989, pp. 162-171
4. ZIEMS, NOAH & WU, SHAOEN. Security Vulnerability Detection Using Deep Learning Natural Language Processing. In: IEEE Conference on Computer Communications Workshops – 2021, Canada , Vancouver, BC : NFOCOM WKSHPS, 2021, pp. 1-6
5. WANG, S., WANG, F., ZHU, Z., WANG, J., TRAN, T., & DU, Z. (2024). Artificial intelligence in education: A systematic literature review. In: *Expert Systems with Applications*, 2024, 224, 124167.
6. LUCKIN, ROSEMARY & HOLMES, WAYNE. Intelligence Unleashed: An argument for AI. 2016.
7. Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education – where are the educators? In: *International Journal of Educational Technology in Higher Education – 2019*, Oldenburg: Springer Netherlands, 16, 39.
8. KHOSRAVI, H., SADIQ, S., & GASEVIC, D. Development and adoption of an adaptive learning system. In: *Proceedings of the 51st ACM Technical Symposium on Computer Science Education (SIGCSE '20)*. Association for Computing Machinery, New York, New York, 2020, 26 February 2020 New York: SIGCSE '20, pp.58-64.
9. RevDeBug. Using AI in Software Bug Fixing and Software Writing. [online]. [accessed 7.03.2025]. Disponibil: <https://revdebug.com/blog/ai-software/>
10. Qodo. *The Evolution of Code Refactoring Tools: Harnessing AI for Efficiency*. [online].[accessed 9.03.2025]. Disponibil: <https://www.qodo.ai/blog/evolution-code-refactoring-tools-ai-efficiency/>

DOMENII DE APLICARE A DRONELOR

Andrei CLIMA¹, Maxim KAPUSTEANSKI²

¹Departamentul Informatică și Ingineria Sistemelor, RM-221, Facultatea Calculatoare Informatică și Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Moldova

²Departamentul Informatică și Ingineria Sistemelor, Facultatea Calculatoare Informatică și Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Moldova

*Autorul corespondent: Andrei Clima, andrei.clima@iis.utm.md

Îndrumătorul/coordonatorul științific **Viorel CĂRBUNE**, dr., Universitatea Tehnică a Moldovei

Rezumat. Studiul analizează rolul tot mai important al dronelor în diverse sectoare, datorită versatilității și progreselor tehnologice. Ipoteza susține că dronele sporesc semnificativ eficiența și inovația în aplicații variate. Scopul este de a evalua domeniile cheie de aplicare a dronelor, avantajele acestora și potențialul viitor. S-a realizat o revizuire a literaturii și un studiu de caz asupra a trei modele de drone (F450, S550, QAV250), împreună cu o analiză a tehnologiilor bateriilor. Rezultatele evidențiază contribuția dronelor în fotografia aeriană, agricultura de precizie, livrarea medicală, monitorizarea mediului, operațiunile militare și educație, cu avantaje precum accesibilitatea în zone periculoase, colectarea datelor în timp real și precizia operațiunilor. Studiul concluzionează că progresele tehnologice și adaptările legislative vor extinde aplicațiile dronelor, stimulând inovația și sustenabilitatea în activitățile umane.

Cuvinte cheie: agricultură, educație, fotografie aeriană, livrare medicală, monitorizare ambientală, tehnologie drone.

Introducere

Dronele, sau vehiculele aeriene fără pilot (UAV), au devenit instrumente esențiale în multiple industrii, transformând abordările tradiționale pentru sarcini precum supravegherea sau livrarea [1]. Capacitatea lor de a accesa zone greu accesibile, de a colecta date de înaltă calitate și de a opera autonom a impulsionat adoptarea lor în domenii comerciale și științifice [2]. Progresele recente în senzori, baterii și navigație autonomă au extins funcționalitățile dronelor, făcându-le indispensabile [3].

Acest studiu presupune că dronele îmbunătățesc semnificativ eficiența și inovația în diverse sectoare prin soluții accesibile, precise și rapide. Obiectivele principale sunt: (1) identificarea domeniilor cheie de aplicare a dronelor, (2) analizarea caracteristicilor tehnologice care permit aceste aplicații și (3) evaluarea impactului prin studiul de caz al unor modele specifice. Deși dronele oferă numeroase beneficii, provocări precum reglementările restrictive persistă, necesitând cercetări suplimentare. Acest articol oferă o privire de ansamblu asupra aplicațiilor dronelor, avantajelor și perspectivelor viitoare, inclusiv impactul lor asupra sustenabilității.

Materiale și Metode

Studiul a utilizat o abordare mixtă, combinând o revizuire a literaturii cu un studiu de caz. Revizuirea literaturii a inclus articole științifice, cărți și rapoarte, folosind cuvinte cheie precum „aplicații drone”, „tehnologie UAV” și „agricultură de precizie”.

Studiul de caz a analizat trei modele de drone – F450, S550 și QAV250 – alese pentru designul și aplicațiile lor distincte. Specificațiile tehnice (structură, capacitate de încărcare, stabilitate în zbor) au fost comparate pe baza datelor producătorilor și recenziilor utilizatorilor. Tipurile de drone (multirotor, aripă fixă, hibrid) și bateriile (Li-Ion, Li-Po, LiFePO₄) au fost evaluate pentru adecvarea la sarcini specifice.

Pentru analiza eficienței bateriilor, s-a utilizat formula eficienței energetice:

$$\eta = \frac{E_{util}}{E_{total}} \cdot 100 \quad (1)$$

unde η este eficiența energetică (%), E_{util} este energia utilizată efectiv pentru zbor (Wh), iar E_{total} este energia totală stocată. Datele privind performanța bateriilor (densitate energetică, rata de descărcare) au fost obținute din manuale tehnice.

Rezultate

Analiza a scos în evidență versatilitatea dronelor, care își găsesc aplicații în domenii variate, transformând modul în care abordăm activități complexe. În domeniul fotografiei și filmării aeriene, drone precum modelele F450 și S550, dotate cu camere de înaltă rezoluție, captează imagini spectaculoase, oferind perspective inedite pentru cinematografie, publicitate și turism [1]. Aceste drone permit realizatorilor de film și agențiilor de marketing să creeze conținut vizual de impact, inaccesibil metodelor tradiționale.

În agricultura de precizie, dronele revoluționează gestionarea culturilor și a solului. Echipate cu senzori avansați, ele monitorizează sănătatea plantelor, optimizează irigarea și fertilizarea, contribuind la reducerea emisiilor prin utilizarea eficientă a resurselor. Modelul F450, de exemplu, excellează în detectarea deficiențelor nutriționale, ajutând fermierii să ia decizii informate pentru a crește randamentul [2].

Livrarea medicală reprezintă un alt domeniu în care dronele își dovedesc valoarea, transportând medicamente și echipamente esențiale în zone izolate sau afectate de dezastre. Prin reducerea timpului de livrare și a emisiilor comparativ cu transportul terestru, dronele oferă soluții rapide și sustenabile pentru situații critice [3].

În monitorizarea ambientală și gestionarea dezastrelor, dronele joacă un rol crucial, evaluând nivelurile de poluare și biodiversitatea. Ele furnizează date în timp real, indispensabile în situații de urgență, cum ar fi incendiile sau inundațiile, permițând intervenții rapide și bine informate [4].

În sectorul militar și de apărare, drone precum S550 sunt utilizate pentru supraveghere și recunoaștere, sporind siguranța operațiunilor prin reducerea riscurilor pentru personalul uman. Aceste drone oferă informații precise și rapide, esențiale pentru luarea deciziilor strategice [5].

Nu în ultimul rând, educația beneficiază de pe urma dronelor, în special prin modele precum QAV250, folosite în universități pentru studierea roboticii și aeronauticii. Aceste drone inspiră studenții să exploreze concepte avansate de inginerie și să dezvolte soluții inovatoare, contribuind la formarea viitoarei generații de oameni de știință și ingineri.

Studiu de caz: Modele de drone

Studiul a comparat trei modele:

F450 este un quadcopter robust, cu un cadru de 450 mm, optimizat pentru stabilitate și versatilitate. Este echipat cu patru motoare și o baterie Li-Po, oferind o autonomie de aproximativ 15–20 de minute. Datorită capacității moderate de încărcare (până la 1 kg), este ideal pentru fotografie aeriană, agricultură de precizie (ex. monitorizarea culturilor) și livrări mici. Structura sa modulară permite integrarea camerelor HD și a senzorilor pentru detectarea deficiențelor nutriționale.



Figura 1. Drona F450

S550 este un hexacopter cu un cadru de 550 mm, proiectat pentru stabilitate superioară și capacitate de încărcare ridicată (până la 2 kg). Dispune de șase motoare, oferind redundanță în caz de defecțiuni, și o autonomie de 20–25 de minute cu baterii Li-Ion. Este potrivit pentru filmări profesionale, monitorizare ambientală (ex. evaluarea biodiversității) și cercetare științifică, datorită capacității de a transporta echipamente avansate, precum camere termice.



Figura 2. Drona S550

QAV250 este un quadcopter compact, cu un cadru de 250 mm, optimizat pentru viteză și agilitate. Cu o greutate redusă și baterii Li-Po de mare putere, atinge viteze de până la 100 km/h și o autonomie de 5–10 minute. Este utilizat în curse FPV (First Person View), explorare rapidă și educație, fiind popular în universități pentru studierea dinamicii zborului și roboticii.



Figura 3. Drona QAV250

Tabelul 1

Comparație modele drone

Model	Tip	Capacitate încărcare	Aplicații cheie
F450	Quadcopter	Medie (până la 1 kg)	Fotografie, Agricultură, Livrare
S550	Hexacopter	Ridicăta (până la 2 kg)	Filmare, Monitorizare, Cercetare
QAV250	Quadcopter	Scăzută (<0.5 kg)	Curse, Explorare, Educație

Eficiența bateriilor

Bateriile Li-Ion și Li-Po sunt dominante în drone. Li-Ion oferă o densitate energetică mai mare (150–200 Wh/kg), dar un curent de descărcare mai mic, fiind ideal pentru misiuni de lungă durată. Li-Po are o greutate mai mică și curent mare (până la 50C), fiind preferat pentru drone rapide. Eficiența energetică (η) variază: Li-Ion atinge ~85–90% în aplicații precum supravegherea, iar Li-Po ~80–85% în curse, datorită pierderilor mai mari la descărcare rapidă.

Tabelul 2

Caracteristici baterii drone

Tip baterie	Densitate energetică	Rata descărcare	Aplicații
Li-Ion	Ridicăta	Scăzută	Supraveghere, Cartografiere
Li-Po	Medie	Ridicăta	Curse, Filmare, Sarcini grele
LiFePO4	Scăzută	Medie	Industrial, Educațional

Sisteme de transmisie video

În cadrul experimentelor au fost utilizate două tipuri de legături video: analogice și digitale, în funcție de cerințele aplicației. Transmisia analogică a fost realizată cu modulul Rush Solo Tank, utilizat în special pe dronele FPV precum QAV250, unde este necesară o latență minimă și compatibilitate cu sisteme clasice de ochelari. Pentru aplicații ce implică filmare de înaltă calitate și distanțe mari de operare, precum cele realizate cu modelele F450 și S550, a fost

implementat sistemul DJI O4, care oferă transmisie digitală în timp real, cu rezoluție ridicată și stabilitate superioară a semnalului.

Tabelul 3

Comparație între sistemele de transmisie video utilizate

Tip transmisie	Model utilizat	Tip dronă asociată	Avantaje principale	Aplicații comune
Analogică	Rush Solo Tank	QAV250	Latență redusă, cost redus, compatibilitate largă	Curse FPV, Educație, Explorare
Digitală	DJI O4	F450, S550	Calitate video superioară, stabilitate, rază extinsă	Filmare profesională, Monitorizare

Discuții

Rezultatele confirmă ipoteza că dronele sporesc eficiența în diverse sectoare. În agricultură, ele reduc risipa de resurse și cresc randamentul, contribuind la sustenabilitate prin diminuarea emisiilor [2]. În livrarea medicală, dronele depășesc limitările infrastructurii, adresând provocări critice în zone izolate și reducând amprenta de carbon [3]. Totuși, limitările bateriilor și reglementările restrictive împiedică adoptarea pe scară largă [1].

Față de metodele tradiționale, dronele oferă soluții rapide și economice, dar scalabilitatea și gestionarea spațiului aerian rămân provocări. În educație, dronele stimulează inovația prin aplicarea practică a conceptelor de robotică. Cercetările viitoare ar trebui să se concentreze pe baterii mai eficiente (ex. pile de hidrogen) și reglementări standardizate pentru a maximiza impactul dronelor.

Concluzii

Studiul demonstrează că dronele sunt instrumente versatile, cu aplicații semnificative în fotografie aeriană, agricultură, livrare medicală, monitorizare ambientală, operațiuni militare și educație. Avantajele lor – accesibilitate, precizie, date în timp real și sustenabilitate – stimulează inovația. Studiile de caz asupra modelelor F450, S550 și QAV250 evidențiază adecvarea lor pentru sarcini specifice. Pe măsură ce tehnologia avansează, dronele vor pătrunde în noi domenii, susținute de baterii mai performante și cadre legislative adaptate.

Referințe

1. MERKERT, R.; BUSHELL, J. Managing the drone revolution: A systematic literature review into the current use of airborne drones and future strategic directions for their effective control. *J. Air Transp. Manag.* 2020, 89, 101929. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101929>
2. GUEBSI, R.; MAMI, S.; CHOKMANI, K. Drones in precision agriculture: A comprehensive review of applications, technologies, and challenges. *Drones* 2024, 8, 686. <https://doi.org/10.3390/drones8110686>
3. STIERLIN, N.; RISCH, M.; RISCH, L. Current advancements in drone technology for medical sample transportation. *Logistics* 2024, 8, 104. <https://doi.org/10.3390/logistics8040104>
4. HUANG, C.; CHENG, K.-T. Towards a smart drone cinematographer for filming human motion. *IEEE Trans. Robot.* 2023, 39, 1234–1245. <https://escholarship.org/uc/item/8tk2c096>
5. CRIOLLO, L.; MENA-ARCINIEGA, C.; XING, S. Classification, military applications, and opportunities of unmanned aerial vehicles. *Aviation* 2024, 28, 115–127. <https://doi.org/10.3846/aviation.2024.21672>

EVALUATING WHISPER'S SPEECH TO TEXT PERFORMANCE FOR ROMANIAN USING AUDIO FROM DIVERSE DOMAINS

Ion CERNEI

Software Engineering, IS-241M, Faculty of Computers, Informatics and Microelectronics,
Technical University of Moldova, Chişinău, Republic of Moldova

*Corresponding author: Ion Cernei, ion.cernei@isa.utm.md

Scientific coordinator **Corina Beşliu**, university lecturer, Technical University of Moldova

Abstract. *This study evaluates the Whisper model's performance for Romanian speech-to-text transcription, investigating how transcription accuracy varies across diverse audio domains. Audio sources, including audiobooks, news broadcasts, and official public speeches, were selected for their verified textual references, ensuring robust evaluation through accurate alignment. Each domain presents distinct linguistic and acoustic characteristics, from the structured and clear narration of audiobooks to the dynamic and occasionally noisy environments of live news, to the formal rhetoric of political discourse. The study uses standard evaluation metrics such as Word Error Rate (WER) and Character Error Rate (CER), enabling a consistent assessment of transcription performance. By focusing on Romanian, a low-resource language in automatic speech recognition, this study provides novel insights into Whisper's effectiveness and the influence of the audio domain on transcription quality, contributing to advancements in speech recognition for under-resourced languages. Results show that Whisper performs best on scripted, high-quality audio such as audiobooks. At the same time, accuracy decreases in more variable and spontaneous contexts, highlighting the model's sensitivity to content structure and recording conditions.*

Keywords: *automatic speech recognition, low-resource languages, error metrics, speech analysis, domain-specific evaluation.*

Introduction

Automatic speech recognition (ASR), also known as speech-to-text technology, has become increasingly accessible and accurate due to recent advances in deep learning and large-scale multilingual models [1,2]. These systems are now widely used in applications ranging from voice assistants and transcription services to accessibility tools. However, their performance still varies considerably depending on the language and context of the input, especially for under-resourced languages like Romanian [3,4].

Romanian poses several challenges to ASR systems: it has a rich morphological structure, uses diacritics that change word meaning, and appears far less frequently in large-scale training datasets compared to English or Spanish [4]. As a result, many state-of-the-art models either exclude Romanian from benchmark evaluations or offer only general performance estimates, without examining how transcription quality changes across different types of content [5].

This study addresses that gap by systematically evaluating the transcription quality of Whisper, a powerful multilingual ASR model developed by OpenAI [1,2], for Romanian-language audio. Unlike prior work that focuses on tool comparisons or global WER scores [6], this research explores how Whisper's accuracy is affected by domain-specific content characteristics. Four content categories were selected for analysis: poetry, prose, news broadcasts, and public discourse. These domains differ significantly in terms of speech clarity, structure, and linguistic register—factors known to influence transcription difficulty.

The novelty of this study lies in its domain-aware, language-specific analysis. By combining Whisper's outputs with high-quality, manually aligned Romanian transcripts, the research offers both quantitative accuracy scores and a breakdown of common transcription errors. This contributes to a better understanding of how large ASR models handle Romanian in practice, and what challenges remain for improving speech recognition in low-resource languages.

Methodology

The transcription was performed using the Whisper model in "turbo" mode, with the language parameter explicitly set to "ro" to ensure Romanian-specific decoding [1,2]. Each audio file was processed using the transcribe() method without additional configuration or model fine-tuning. The dataset included 15 audio recordings, divided across four domains: poetry, prose, news, and public discourse. Literary audio was sourced from Librivox.org, news segments from Digi24 and TVR Moldova, and speeches from official institutional platforms. Each audio file was manually paired with a reference text, in transcript or subtitle format, to enable direct comparison.

Transcription outputs were evaluated using Word Error Rate (WER) and Character Error Rate (CER), calculated with the JiWER library [7]. WER measures the proportion of word-level errors (insertions, deletions, substitutions) relative to the total number of words in the reference text, while CER applies the same logic at the character level [7]. These metrics provide a quantitative measure of transcription accuracy and allow for consistent comparison across content types. Domain-specific normalization rules were applied: for poetry, the text was converted to lowercase and stripped of punctuation; for other domains, spacing, and formatting were standardized while preserving case and diacritics.

Additionally, word-level differences between the reference and the transcription were analyzed to identify:

- Diacritic errors, detected by comparing unicode-normalized versions of words [8].
- Morphological errors, using a rule-based stemmer that removes common Romanian suffixes [4].
- Named entity errors, identified through capitalization patterns.
- Punctuation errors, based on mismatches in symbol presence.

Omissions and insertions were extracted directly from the alignment output. All metrics and error counts were aggregated by domain and logged for analysis and reporting. The implementation relied on the following tools:

- JiWER – for WER, CER, and normalization pipelines [7].
- Difflib – for word-by-word difference analysis.
- Unidecode – for diacritic detection [8].
- Custom Python functions – for stemming and classification of error types.
- Standard Python libraries – for text and file processing.

Results

Transcription accuracy varied significantly across content domains, with notable differences in both word and character-level performance. The Whisper model demonstrated higher accuracy for formal and articulated speech, while domains with poetic or spontaneous language encountered greater challenges.

Figure 1 presents a comparison of Word Error Rate (WER) and Character Error Rate (CER) across the four evaluated content domains.

The lowest error rates were observed in the discourse category, indicating the model performs best on formal, articulated speech. On the other hand, poetry had the highest WER (46.5%) due to its irregular structure and stylized language. News broadcasts presented a high CER (23.9%), influenced by faster speech, spontaneous phrasing, and background noise.

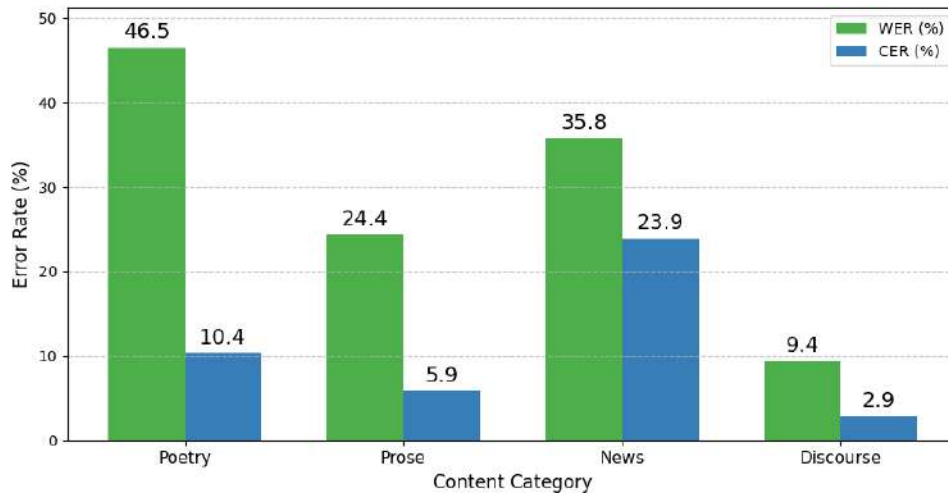


Figure 1. Transcription accuracy by domain

Figure 2 illustrates the frequency distribution of transcription error types, emphasizing the predominance of substitutions and insertions.

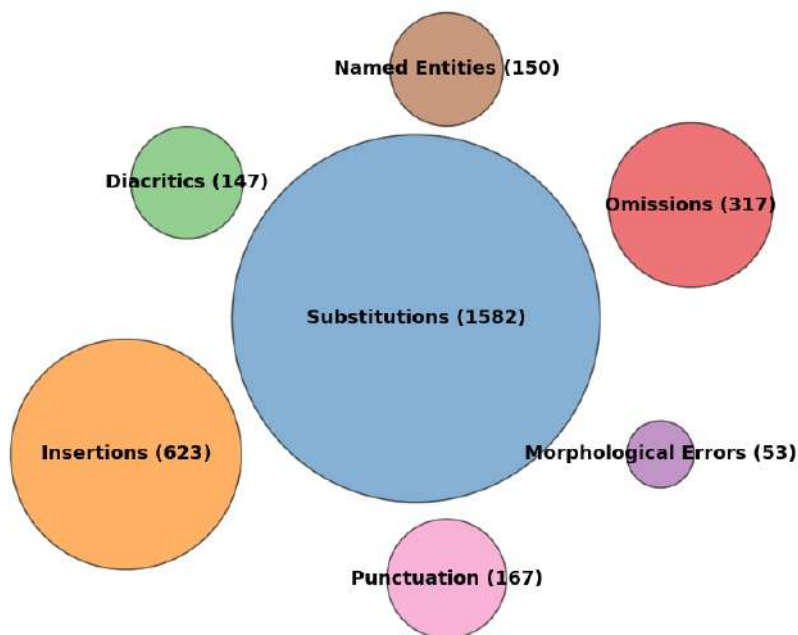


Figure 2. Distribution of transcription error types

Substitutions were the most frequent error type, comprising over half of all errors, followed by insertions and omissions. Diacritic-related mistakes, although less frequent, were notable given their importance in Romanian spelling and meaning. Named entity errors were concentrated in the discourse and news categories, particularly affecting personal and institutional names. Morphological mismatches, such as incorrect inflections or suffix substitutions, occurred sporadically across literary content.

Conclusions

The findings of this study reveal that automatic transcription performance for Romanian, as evaluated with the Whisper model, is strongly influenced by the linguistic and contextual nature of the input. Results showed that Whisper performed best on public speeches (WER 9.4%,

CER 2.9%) and worst on poetry (WER 46.5%, CER 10.4%), with prose and news falling in between. These differences are not incidental—they reveal how genre, speech style, and content structure shape the limits of speech-to-text systems in low-resource settings.

A key insight from this evaluation is that transcription errors increase sharply in domains with stylized or unpredictable language, such as poetry and spontaneous news reporting. Whisper’s performance benefits when content is formal, structured, and clearly articulated, characteristics more typical of political discourse. This suggests that model performance is tightly coupled with how well the input conforms to patterns learned during pre-training, highlighting the mismatch between general-purpose ASR models and linguistically diverse or expressive content.

The detailed error analysis further supports this interpretation. Substitutions accounted for more than half of all errors, indicating that Whisper often selected semantically plausible but incorrect words—particularly where phonetic cues were ambiguous or contextual grounding was weak. Diacritic and morphological errors, though less frequent, remained consistent, underscoring the limitations of phoneme-driven transcription in a language with orthographic nuance and grammatical inflection like Romanian.

These findings underscore a broader point, Romanian remains less represented in ASR research, despite having unique and meaningful challenges. While Whisper offers an impressive general capability, achieving high-fidelity transcription across Romanian domains requires greater representation in training data, domain-aware evaluation, and targeted adaptation. This work contributes toward that goal by offering a domain-diverse, error-aware analysis grounded in carefully aligned reference texts.

References

1. RADFORD, A.; KIM, J.W.; XU, T.; BROCKMAN, G.; MCLEAVEY, C.; SUTSKEVER, I. Robust Speech Recognition via Large-Scale Weak Supervision. In Proceedings of Machine Learning Research; 2023.
2. OPENAI. Introducing Whisper. OpenAI Blog. <https://openai.com/research/whisper> (accessed 2025-05-20).
3. AVRAM, A.-M.; SMĂDU, R.-A.; PĂIȘ, V.; CERCEL, D.-C.; ION, R.; TUFIȘ, D. Towards Improving the Performance of Pre-Trained Speech Models for Low-Resource Languages Through Lateral Inhibition. arXiv June 30, 2023. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2306.17792>.
4. AVRAM, A.-M.; PĂIȘ, V.; TUFIȘ, D. Romanian Speech Recognition Experiments from the ROBIN Project. arXiv November 23, 2021. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2111.12028>.
5. GEORGESCU, A.-L.; CUCU, H.; BUZO, A.; BURILEANU, C. RSC: A Romanian Read Speech Corpus for Automatic Speech Recognition. In Proceedings of the Twelfth Language Resources and Evaluation Conference; Calzolari, N., Béchet, F., Blache, P., Choukri, K., Cieri, C., Declerck, T., Goggi, S., Isahara, H., Maegaard, B., Mariani, J., Mazo, H., Moreno, A., Odijk, J., Piperidis, S., Eds.; European Language Resources Association: Marseille, France, 2020; pp 6606–6612.
6. MALIK, M.; MALIK, M.K.; MEHMOOD, K.; MAKHDOOM, I. Automatic Speech Recognition: A Survey. *Multimed Tools Appl* 2021, 80 (6), pp. 9411–9457. <https://doi.org/10.1007/s11042-020-10073-7>.
7. Jitsi/Jiwer. <https://github.com/jitsi/jiwer> (accessed 2025-05-30).
8. Unidecode: ASCII Transliterations of Unicode Text. <https://github.com/avian2/unidecode>.

LA CYBERSÉCURITÉ ET L'INDUSTRIE 4.0

Victoria FORTUNA

*Département Génie Logiciel et Automatique, Faculté Ordinateurs, Informatique et Microélectronique Université
Technique de Moldova, Chisinau, République de Moldova*

* Auteur correspondant : Victoria FORTUNA, victoria.fortuna@isa.utm.md

Coordinateur : **Daniela ISTRATI**, lecteur universitaire, Dr., Département Génie Logiciel et Automatique, Faculté Ordinateurs, Informatique et Microélectronique Université Technique de Moldova, Chişinău, République de Moldova

Résumé. Dans cet article, nous avons étudié l'Industrie 4.0, qui démontre en fait un changement profond dans les processus industriels grâce à l'intégration de technologies avancées telles que l'intelligence artificielle, l'Internet industriel des objets, la robotique, le big data et les systèmes cyber-physiques qui sont utilisés dans tous les domaines du 21^e siècle. De mon point de vue, ces innovations permettent une production intelligente, flexible et personnalisable, réduisant les coûts, la consommation d'énergie et la dépendance à l'intervention humaine, pour la protection et la préservation de l'environnement. Un autre facteur important décrit dans cet article est que la connectivité en temps réel des équipements via des capteurs et des contrôleurs permet une adaptation dynamique de la production et une meilleure gestion des ressources. Cependant, l'interconnexion massive des systèmes industriels augmente les risques de cyberattaques, faisant de la cybersécurité un enjeu crucial. L'industrie 4.0 représente l'organisation du travail, les compétences nécessaires et les modèles économiques industriels. En fin de compte, elle se distingue non seulement comme une révolution technique qui a servi à moderniser l'humanité, mais aussi comme un début stratégique pour un nouveau départ dans le monde de la modernisation humaine.

Mots-clés: automatisation, internet des objets, cybersécurité, personnalisation, systèmes intelligents

Introduction

L'Industrie 4.0 peut être définie comme l'intégration de technologies digitales intelligentes dans la production et les processus industriels. Elle englobe un ensemble de technologies comprenant les réseaux IoT industriels, l'IA, le Big Data, la robotique et l'automatisation (voir Fig. 1). L'Industrie 4.0 permet une production intelligente et la création d'usines intelligentes. Elle a pour ambition d'améliorer la productivité, l'efficacité et la flexibilité tout en permettant une prise de décision et une personnalisation plus intelligente dans les opérations de production et de Supply Chain.

La définition de l'Industrie 4.0 également précise qu'elle tient son nom de la *quatrième révolution industrielle*. Depuis les années 1800, nous avons connu trois révolutions industrielles. Si on les qualifie ainsi, c'est parce que l'innovation à l'origine de ces « révolutions » industrielles n'a pas simplement permis d'améliorer légèrement la productivité et l'efficacité : elle a complètement révolutionné la production et l'organisation du travail, ou n'importe quel domaine d'activité. Nous sommes aujourd'hui dans la quatrième révolution industrielle, c'est-à-dire l'Industrie 4.0 [1, 2].

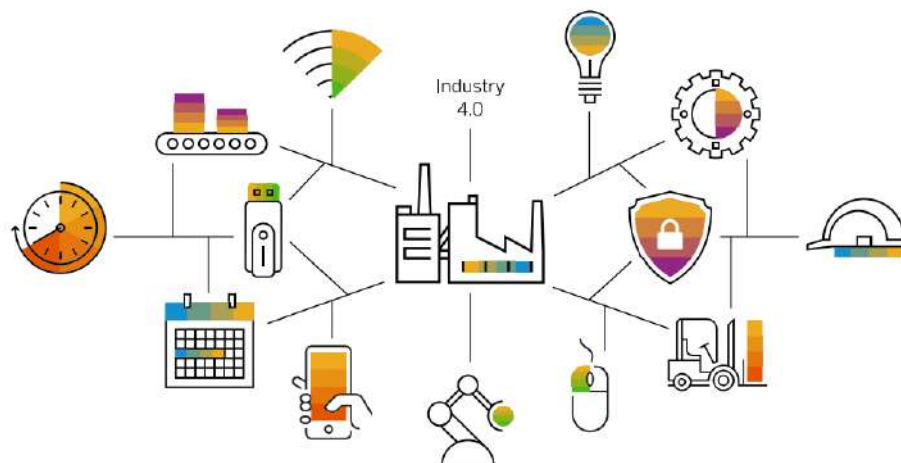


Figure 8. Definition de l'Industrie 4.0 [1]

La quatrième révolution industrielle organise des processus de production induits par les innovations liées à l'internet des objets et aux technologies du numérique, tels que la robotique, la réalité augmentée, l'impression 3D, l'intelligence artificielle et les SaaS afin d'exploiter les données issues du Big data et de la maquette numérique. Toutes ces techniques font partie des ingrédients qui entrent dans la composition de l'Industrie 4.0 [3]. La technologie de la Radio-identification, en anglais RFID, s'impose comme la pierre angulaire dans la « Smart Product » [4]. Ces nouvelles technologies font émerger un concept de système cyber-physique de production, de l'anglais CPS. Cela correspond à un système autonome intégrant de l'électronique et du logiciel associés à des capteurs et dotés de capacité de communication. Un système cyber-physique interagit avec son environnement dans lequel il prend les données et les traite[5]. Ils sont utilisés pour contrôler et piloter les processus physiques et modifient ainsi ces processus vers des fonctionnalités nouvelles[6]. L'internet des objets et les systèmes cyber-physique forment la base de la technologie pour l'Industrie 4.0. Dans ce nouveau modèle, la coordination de ces technologies s'applique non seulement dans l'usine, mais aussi entre les usines. Le but est d'augmenter l'efficacité des processus industriels avec le moins d'intervention humaine tant au niveau de la maintenance que de la gestion des pannes et ainsi, par la flexibilité et la personnalisation, accroître la productivité en réduisant les coûts et la consommation d'énergie. L'intérêt des chercheurs, des fabricants, des développeurs d'application et des gouvernements s'intensifie au vu des perspectives de bénéfices économiques que permet la production intelligente «Smart Product». Les applications de l'Industrie 4.0

Les applications de l'industrie 4.0 ont été conçues pour répondre à un large éventail de besoins et d'exigences avec différents niveaux de dépenses, de complexité ou de fonctionnalité. Voyons dans quels buts.

- La mise en réseau (ou connectivité) est un des éléments essentiels de la « smart industry ». La connexion entre les différents éléments de l'usine vise à permettre une amélioration de toutes les opérations du site : la production, les approvisionnements, la maintenance ou encore la gestion des stocks et la distribution. Il s'agit de faire remonter en permanence des informations pour coordonner les machines avec les décisions stratégiques et opérationnelles.
- La connectivité dont nous venons de parler est permise notamment grâce aux technologies IoT qui visent à mettre en réseau les machines grâce à des capteurs et différents réseaux de communication sans fil. Cela doit permettre une communication fluide entre les différents équipements du site. Ces éléments connectés sont capables de communiquer entre eux grâce à l'installation de contrôleurs logiques programmables (PLC) et de remonter leurs données aux Scada (systèmes de contrôle et d'acquisition de données).

- L'application de l'intelligence artificielle dans le monde industriel va permettre d'améliorer, d'optimiser, de prédire, et parfois automatiser, les processus de fabrication grâce à la valorisation des données récoltées. Elle va permettre notamment de traiter le volume d'informations recueillies, à la fois dans la partie production mais aussi au niveau des autres services de l'usine : la maintenance, la distribution, la partie commerciale ou encore la gestion du stockage. [7]

Les enjeux de l'Industrie 4.0

Une nouvelle forme de flexibilisation de la production est à l'oeuvre. Une usine d'un nouveau genre est née. Elle remet en cause la grande usine avec sa production de masse et ses produits standardisés. Pour le cabinet BCG, « il devient possible de faire du sur-mesure avec des coûts voisins de ceux d'une production de masse; les usines de demain seront plus petites, plus écologiques, plus proches des consommateurs »[8] Deux ouvrages publiés en 2016 apportent des éclairages pertinents sur ce qu'il est convenu d'appeler l'industrie 4.0.

Un autre élément important dans la coopération institutionnelle est la création en 2013 de la première plateforme Industrie 4.0 par les trois fédérations professionnelles (TIC, machine-outil et électronique / électrotechnique). Cette initiative a donné lieu à la réalisation d'une feuille de route des recherches à mener d'ici à 2030 et d'un modèle d'architecture de référence censé être compatible avec toutes les branches industrielles. Ces fédérations professionnelles, ainsi que les chambres de commerce et d'industrie (82 agences sur les territoires et une confédération au niveau fédéral), sont des acteurs essentiels du levier pour convertir le Mittelstand à l'Industrie 4.0.

Au niveau de l'Etat allemand, les auteurs nous proposent une typologie tout à fait intéressante de la politique industrielle 4.0 : un Etat initiateur (2006-2009), un Etat commanditaire (2010-2012), un Etat subsidiaire (2013-2014) et, depuis 2015, un Etat maître d'ouvrage avec la remise du rapport sur le bilan de la première plateforme et la stratégie de mise en oeuvre de l'industrie 4.0. L'action de l'Etat fédéral est structurante et dynamique avec la diffusion de l'industrie 4.0 dans le Mittelstand, la réflexion sur « l'avenir du travail » et la construction d'un Industrial Data Space répondant aux exigences de cybersécurité.

L'Industrie 4.0 amène les auteurs à se poser des questions sur les aspects dominants du modèle allemand : contexte général (cadre réglementaire avec la politique de concurrence et toutes les mesures destinées à accompagner l'évolution de l'économie), importance du tissu économique où l'on trouve de nombreuses entreprises de taille moyenne parmi lesquelles les champions cachés [9] .

La cybersécurité dans l'Industrie 4.0

La cybersécurité regroupe un ensemble des mesures dont l'objectif est d'assurer la sécurité des ressources numériques et de garantir la disponibilité, l'intégrité et la confidentialité des données de l'entreprise. Elle intègre des dispositifs organisationnels (RSSI, politique de sécurité, gestion des risques...), des solutions technologiques (EDR, XDR, bastion, sondes réseaux, firewall, antivirus, VPN ...)

La cybersécurité doit protéger les entreprises industrielles de menaces telles que les ransomwares (blocage du système par chiffrement de ses données voire vol et divulgation de celles-ci, avec demande de rançon), l'espionnage industriel, le vol de propriété intellectuelle ou encore le sabotage. Pour aller vers l'usine connectée 4.0 il faut interconnecter les systèmes et les machines et déployer des objets connectés (IIoT). La mise en oeuvre de ces technologies a pour conséquence d'augmenter la « surface d'attaque » que peut exploiter les cybercriminels ou cyberterroristes. La cybersécurité est donc un enjeu majeur du développement de l'Industrie du futur. [10]

Conclusion

L'Industrie 4.0 marque une étape décisive dans l'histoire des transformations industrielles. Elle ne se limite pas à une simple évolution des outils de production, mais incarne une véritable révolution technologique et organisationnelle, reposant sur l'intégration de systèmes intelligents, connectés et autonomes. L'essor des technologies telles que l'internet des objets (IoT), l'intelligence artificielle, le Big Data, la robotique avancée, la réalité augmentée ou encore les systèmes cyber-physiques (CPS) transforme en profondeur les processus industriels, les chaînes de valeur et la relation entre les machines, les produits et les humains.

Cette nouvelle ère industrielle permet la création d'usines intelligentes capables d'auto-optimisation, d'adaptabilité et de personnalisation de la production à grande échelle. Les gains attendus sont considérables : amélioration continue de la productivité, réduction des coûts opérationnels, meilleure gestion des ressources, réduction de l'empreinte énergétique et adaptation rapide à la demande des consommateurs. Elle ouvre également la voie à une relocalisation partielle de certaines productions, à un meilleur positionnement de certains pays sur la scène industrielle mondiale, et à l'émergence de nouveaux modèles économiques centrés sur la donnée et les services intelligents.

Néanmoins, l'Industrie 4.0 soulève de nombreux défis. L'automatisation et la digitalisation massives transforment les métiers industriels, ce qui impose une montée en compétences des salariés et une redéfinition des rôles dans l'organisation du travail. Par ailleurs, l'interconnexion croissante des systèmes rend les infrastructures industrielles vulnérables aux cyberattaques. La cybersécurité devient ainsi un pilier fondamental de la réussite de cette transition, et nécessite une approche globale alliant technologies de protection, organisation, formation et culture de la sécurité à tous les niveaux de l'entreprise.

Ainsi, l'Industrie 4.0 ne représente pas seulement une avancée technique, mais un changement de paradigme qui redéfinit les frontières entre le physique et le numérique, entre l'humain et la machine, entre la production de biens et la création de valeur. Il appartient désormais aux décideurs, aux chercheurs, aux industriels et aux citoyens d'en saisir pleinement les opportunités, tout en anticipant et maîtrisant les risques associés à cette transformation globale

Bibliographie

1. Qu'est-ce que l'Industrie 4.0 ? © 2025 SAP SE. [Accédé le 14.04.2025]. Disponible <https://www.sap.com/france/products/scm/industry-4-0/what-is-industry-4-0.html>.
2. GOGOI, E.; ISTRATI, D.; COJUHARI, I. Educația 4.0: evoluție, provocări și perspective. Dans *Materialele Conferinței Republicane a Cadrelor Didactice*, Vol. 5, 2021, Conferința "Materialele Conferinței Republicane a Cadrelor Didactice", Chișinău, Moldova, 27-28 februarie 2021. [Accédé le 14.04.2025]. Disponible https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/124711.
3. ISTRATI, D.; CALMICOV, I.; MORARU, V.; ZAPOROJAN, S. Interfaces dans l'organisation des systemes de production. Dans *Intellectus*, 2023 [en ligne]. [Accédé le 14.04.2025]. Disponible https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/145-154_10.pdf.
4. MUROFUSHI, R. H.; TAVARES, J. J. P. Z. S. Towards fourth industrial revolution impact: smart product based on RFID technology. Dans *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*. Vol.20 Issue 2. 2017. DOI: 10.1109/MIM.2017.7919135. [online]. [Accédé le 14.04.2025]. Disponible <https://ieeexplore.ieee.org/document/7919135/authors#authors>.
5. VARGHESE, A.; TANDUR, D. « Wireless requirements and challenges in Industry 4.0 », *2014 International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I)*, novembre 2014, p. 634–638 DOI [10.1109/IC3I.2014.7019732](https://doi.org/10.1109/IC3I.2014.7019732) [online]. [Accédé le 14.04.2025]. Disponible <https://ieeexplore.ieee.org/document/7019732>
6. LI, X.; LI, D.; WAN, J.; VASILAKOS, A.V. « A review of industrial wireless networks in the context of Industry 4.0 », *Wireless Networks*, vol. 23, n° 1, 26 novembre 2015, p.

-
- 23–41 (ISSN [1022-0038](#) et [1572-8196](#), DOI [10.1007/s11276-015-1133-7](#) [Accédé le 14.04.2025]
7. Disponible <https://rd.springer.com/article/10.1007/s11276-015-1133-7> Industrie 4.0 : définitions et applications [Accédé le 14.04.2025] Disponible <https://www.sysnav.fr/industrie40-definitions-et-applications/>
8. Management international International Management Gestion Internacional Les enjeux de l'industrie 4.0 Pascal Gaudron and Aziz Mouline Volume 21, Number 2, Winter 2017 URI: <https://id.erudit.org/iderudit/1052695ar> DOI: <https://doi.org/10.7202/1052695ar> [Accédé le 14.04.2025] Disponible <https://www.erudit.org/en/journals/mi/2017-v21-n2-mi04044/1052695ar.pdf>
9. GAUDRON, P. ; MOULINE, A. « Les Champions cachés du XXI^e siècle », Note de lecture, Management International, Vol. 18. n°2, hiver 2014, pp. 209-213.] DOI <https://doi.org/10.7202/1052695ar> adresse copiée une erreur s'est produite [Accédé le 14.04.2025] Disponible <https://www.erudit.org/fr/revues/mi/2017-v21-n2-mi04044/1052695ar>
10. Industrie du futur La révolution des données Gimélec, *Alliance industrie du futur, Smart-Industries*, ANSSI [Accédé le 14.04.2025] Disponible https://gimelec.fr/wp-content/uploads/2019/05/La_Re%CC%81volution_des_donne%CC%81es_au_coeur_de_l_industrie_du_futur.pdf

SDC A UNUI MOTOR DC BAZAT PE LOGICA FUZZY. PROIECTAREA UNUI SISTEM INTEGRAT PENTRU ACHIZIȚIA, PROCESAREA ȘI PREZENTAREA DATELOR PENTRU CONTROLUL UNUI MOTOR DC

Igor VORONA*, Dorin VASCAN, Victor GUȘTIUC,
Daniel BARBACARI, Valentin TEMCIUC

IIS, CRI-241M, CIM, Universitatea Tehnică a Moldovei, Municipiul Chișinău, Republica Moldova

*Autorul corespondent: Igor Vorona, igor.vorona@iis.utm.md

Îndrumătorul științific **Viorel CARBUNE**, lector conf. Univ., *Universitatea Tehnică a Moldovei*

Rezumat. În acest articol a fost propus un sistem dedicat control integrat ce permite achiziția, procesarea și prezentarea datelor unui motor DC. Acest sistem a fost dezvoltat sub arhitectura de tip microservice. El a fost implementat pe două dispozitive: pe computerul Raspberry PI 4 a fost implementat serverul, iar pe ESP2866 a fost implementată aplicația client ce controlează motorul. Dirijarea motorului a fost facilitată de logica Fuzzy. În final a fost obținut un sistem ce a putut îndeplini majoritatea sarcinilor propuse.

Cuvinte cheie: motor dc, logica fuzzy, raspberry pi, esp, iot.

Introducere

Dezvoltarea continuă a sferei IoT (Internet of Things) a dus la scăderea prețurilor la tehnologiile cel mai des utilizate în această industrie, și a creșterii accesibilității la aceste tehnologii. Astfel, costul și nivelul de intrare pentru a crea un dispozitiv sau sistem IoT devin mai accesibile pentru oamenii simpli. Un echipament mai puțin popular ca diferiții senzori de gaz, lumină, apă, LED-urile și butoanele este motorul. Totuși rolul lui este crucial. El reprezintă ”inima” unui sistem și permite locomoția mașinilor și a dispozitivelor fizice. Fără motoare o majoritate din sistemele IoT ar deveni doar colecții de senzori, incapabile de a lucra cu setul de date obținut.

Un motor DC este un motor electric care folosește curent continuu pentru a produce forță mecanică. Cele mai comune tipuri se bazează pe forțele magnetice produse de curenții din bobine. Aproape toate tipurile de motoare DC au un mecanism intern, fie electromecanic, fie electronic, pentru a schimba periodic direcția curentului într-o parte a motorului. Motoarele de curent continuu au fost prima formă de motoare care a fost utilizată pe scară largă, deoarece puteau fi alimentate de la sistemele existente de distribuție a energiei de iluminat cu curent continuu. Viteza unui motor de curent continuu poate fi controlată într-o gamă largă, folosind fie o tensiune de alimentare variabilă, fie prin modificarea puterii curentului în înfășurările sale de câmp. Motoarele mici de curent continuu sunt folosite la unelte, jucării și aparate.

Totuși, pentru a asigura o calitate a lucrului motorului trebuie de asigurat capacitatea de a regla viteza lui. Există mai multe metode de a regla viteza. Unele des folosite sunt controlul vitezei tensiunii armăturii, controlul vitezei fluxului de câmp și controlul vitezei rezistenței armăturii. În [1] A.A. Sadiq et al. Au utilizat controloare cu logică fuzzy, implementând aceste 3 metode.

În acest articol va fi expus și implementat un sistem integrat pentru achiziția, procesarea și prezentarea datelor pentru controlul unui motor DC. În primul capitol vor fi descrise echipamentele și mediul de implementare. În al doilea capitol va fi scris despre logica Fuzzy. În al treilea capitol va fi descrisă succint implementarea.

Echipamentul și mediul de implementare.

Sistemul implementat utilizează următoarele echipamente fizice: Raspberry PI 4, ESP8266, L298N și un motor DC. Întrucât senzorii de viteză nu au fost disponibili în perioada lucrării, sa decis să se utilizeze viteza motorului ca date obținute.

Raspberry PI 4 este un computer de dimensiuni reduse, de tip single-board computer dezvoltat de Raspberry Pi Foundation. Aparține celei de-a patra generație din seria Raspberry Pi și a fost lansat în iunie 2019. Printre caracteristicile principale sunt capacitatea de a avea memorie RAM de la 1GB până la 8 GB, 40 de pini ce suportă GPIO, două porturi micro-HDMI ce susțin rezoluții până la 4k, două porturi USB 2.0, două porturi USB 3.0 și modul ce permite alimentarea prin ethernet. Este mai slab ca un computer obișnuit, însă permite lucrul eficient al sistemelor IoT. Astfel, pe Raspberry PI 4 a fost încărcat sistemul de operare Ubuntu. Acest dispozitiv va fi utilizat pentru rularea serverului [2].

ESP8266 este un microcontroler low-cost cu funcționalitate Wi-Fi integrată, produs de Espressif Systems din China. A devenit popular în comunitatea makerilor și în aplicațiile IoT datorită prețului său accesibil și al consumului redus de energie. Include un procesor Tensilica L106 pe 32 de biți, cu o frecvență de clock de până la 160 MHz. ESP8266 suportă standardul 802.11 b/g/n pe banda de 2.4 GHz, permițând conectarea la rețele Wi-Fi și crearea propriilor puncte de acces. Oferă 17 pini GPIO, care pot fi utilizați pentru a interfața cu senzori, actuatori și alte periferice. Firmware-ul particular inclus în ESP-ul utilizat în proiect este NodeMCU. El va fi utilizat pentru a controla motorul DC [3].

L298N este un driver dual de motor în punte H, un circuit integrat sau un modul electronic care permite controlul independent a două motoare DC, sau a unui motor pas cu pas bipolar. L298N conține două circuite de tip punte H separate. O punte H este un aranjament specific de patru comutatoare, care permite inversarea polarității tensiunii aplicate unui motor, controlând astfel direcția de rotație. Cu două punți H, L298N poate controla două motoare DC independent. Prin controlul stării logice a pinilor de intrare ai fiecărei punți H, se poate selecta direcția de rotație a motorului (înainte, înapoi, sau oprire). L298N mai are și pini "Enable" pentru fiecare punte H. Aplicând un semnal PWM la acești pini, se poate varia puterea medie aplicată motorului, controlând astfel viteza acestuia. Trebuie de remarcat că dacă valoarea este prea mică, motorul nu se va porni. L298N va juca rolul controlorului de viteză, aplicând valoarea PWM trimisă de la ESP8266 [4].

Mediile de proiectare utilizate pe parcursul realizării proiectului au fost Arduino IDE, Zed și Visual Studio Code. Arduino IDE, setat cu placa ESP8266 NodeMCU a permis compilarea, verificarea și trimiterea codului spre modulul NodeMCU. Zed și Visual Studio Code au fost utilizate la crearea paginii și a aplicației web. Aplicația a fost scrisă în limbajul de programare Rust, un limbaj multi paradigmată ce oferă eficiența și costul unui program scris în C sau C++, fără a duce la curgerea memoriei [5]. Pentru implementarea aplicației web a fost utilizat frameworkul Axum, creat de echipa Tokio. Este construit pe fundația puternică a ecosistemului Tokio, care este biblioteca de facto pentru programare asincronă în Rust. Axum își propune să ofere o modalitate ergonomică și eficientă de a construi aplicații web performante în Rust, fără a impune prea multe abstracțiuni sau complexitate inutilă [6].

Descrierea logicii Fuzzy.

În lumea noastră complexă și adesea ambiguă, luarea deciziilor se bazează rareori pe valori binare clare de adevărat sau fals. De multe ori, ne confruntăm cu informații imprecise, vagi sau parțial adevărate. Logica clasică, cu principiile sale stricte de excludere a terțului și non-contradicție, se dovedește inadecvată în modelarea acestui tip de raționament uman. Aici intervine logica fuzzy, o extensie revoluționară a logicii booleene, care oferă o modalitate flexibilă și intuitivă de a gestiona incertitudinea.

Dezvoltată în 1965 de Lotfi A. Zadeh, logica fuzzy introduce conceptul de "adevăr parțial". Spre deosebire de logica clasică, unde o afirmație este fie complet adevărată (1), fie complet falsă (0), logica fuzzy permite ca o afirmație să aibă un grad de adevăr cuprins între 0 și 1. Acest grad de adevăr reprezintă măsura în care o afirmație este considerată adevărată. De exemplu, în logica clasică, temperatura unei camere ar fi fie "caldă", fie "nu caldă". În logica fuzzy, temperatura ar putea fi "0.8 caldă", indicând un grad ridicat, dar nu absolut, de căldură. Conceptul central al logicii fuzzy este acela de "mulțime fuzzy". În teoria clasică a mulțimilor, un element fie aparține, fie nu aparține unei mulțimi. În schimb, într-o mulțime fuzzy, fiecare element are un grad de apartenență la acea mulțime, exprimat printr-o valoare între 0 și 1. Această flexibilitate permite modelarea conceptelor vagi, cum ar fi "tânăr", "înalt" sau "rapid", care nu au limite precise. O persoană de 30 de ani ar putea avea un grad de apartenență de 0.7 la mulțimea "tânăr", în timp ce o persoană de 20 de ani ar putea avea un grad de 0.9. Logica fuzzy operează cu reguli de tipul "DACĂ-ATUNCI", similare cu cele din sistemele expert clasice, dar cu o diferență crucială: atât premisele ("DACĂ") cât și concluziile ("ATUNCI") sunt formulate în termeni de variabile lingvistice ale căror valori sunt mulțimi fuzzy. De exemplu, o regulă ar putea fi: "DACĂ temperatura este ridicată, ATUNCI viteza ventilatorului este mare". Aici, "temperatură ridicată" și "viteză mare a ventilatorului" sunt mulțimi fuzzy definite pe intervalele corespunzătoare ale temperaturii și vitezei. Procesul de inferență fuzzy este mecanismul prin care un sistem bazat pe logică fuzzy ajunge la o concluzie sau ia o decizie pe baza intrărilor fuzzificate și a setului de reguli fuzzy definite. Acesta cuprinde patru pași principali, fiecare având un rol crucial în transformarea intrărilor imprecise în ieșiri acționabile.

Fuzzificare: Acesta este primul pas în procesul de inferență fuzzy și constă în transformarea valorilor de intrare crisp (numerice, precise) în mulțimi fuzzy. Valorile crisp reprezintă măsurători sau date concrete din lumea reală. Pentru a le putea utiliza în cadrul regulilor fuzzy, care operează cu termeni lingvistici vagi, este necesară maparea acestor valori pe grade de apartenență la mulțimile fuzzy predefinite. Pentru fiecare variabilă de intrare crisp, se aplică un set de funcții de apartenență (membership functions). O funcție de apartenență definește forma curbei care specifică modul în care fiecare punct din universul de discurs (intervalul de valori posibile pentru variabila respectivă) este mapat la o valoare de apartenență între 0 și 1 pentru o anumită mulțime fuzzy. Cel mai des se utilizează funcția de apartenență trapezoidală, definită de patru parametri (a , b , c , d), unde intervalul $[b, c]$ are apartenență maximă (1), iar $[a, b]$ și $[c, d]$ sunt pantele ascendente și descendente.

Inferență: Această etapă implică evaluarea regulilor fuzzy definite în baza de cunoștințe a sistemului. Fiecare regulă are o parte antecedentă (premise "DACĂ") și o parte consecventă (concluzia "ATUNCI"). Antecedentul este format din una sau mai multe propoziții fuzzy conectate prin operatori logici fuzzy, cum ar fi AND, OR sau NOT. Pentru fiecare regulă, se calculează gradul de activare (firing strength), care reprezintă gradul în care antecedentul regulii este satisfăcut de intrările fuzzificate. Odată calculat gradul de activare pentru fiecare regulă, acesta este propagat către consecventul regulii. Există două metode principale de inferență pentru a determina forma mulțimii fuzzy de ieșire pentru fiecare regulă. Prin metoda Min-implication mulțimea fuzzy de ieșire este trunchiată la nivelul gradului de activare. Adică, funcția de apartenență a mulțimii fuzzy de ieșire este limitată de valoarea gradului de activare. Iar metoda Product-implication insinuează că funcția de apartenență a mulțimii fuzzy de ieșire este scalată prin multiplicarea cu gradul de activare.

Agregare: În această etapă, mulțimile fuzzy de ieșire generate de toate regulile active sunt combinate într-o singură mulțime fuzzy de ieșire. Dacă mai multe reguli se activează simultan și generează mulțimi fuzzy de ieșire pentru aceeași variabilă de ieșire, este necesar să se combine aceste mulțimi într-o singură reprezentare fuzzy care să cuprindă toate contribuțiile. Cele mai comune metode de agregare includ max, sum și bounded sum, sau suma limitată. Rezultatul agregării este o singură mulțime fuzzy care reprezintă concluzia fuzzy a sistemului pentru intrările date.

Defuzzificare: Ultimul pas al procesului de inferență fuzzy este defuzzificarea, care constă în transformarea mulțimii fuzzy de ieșire agregată într-o valoare crisp care poate fi utilizată pentru control, decizie sau afișare. Deoarece lumea reală operează de obicei cu valori precise, este necesar să se obțină o valoare unică și clară din distribuția de apartenență fuzzy.

Implementarea.

Sa decis ca sistemul să fie construit sub arhitectura multiservice. Această arhitectură oferă independența modulelor și permite lucrul concomitent la mai multe sarcini. Întrucât au fost disponibile două dispozitive programabile (ESP2866 și Raspberry PI 4) a fost decis ca aplicația server să fie scrisă pe Raspberry. În Figura 1 este expusă diagrama flowchart a sistemului integrat propus, și fluxul de date.

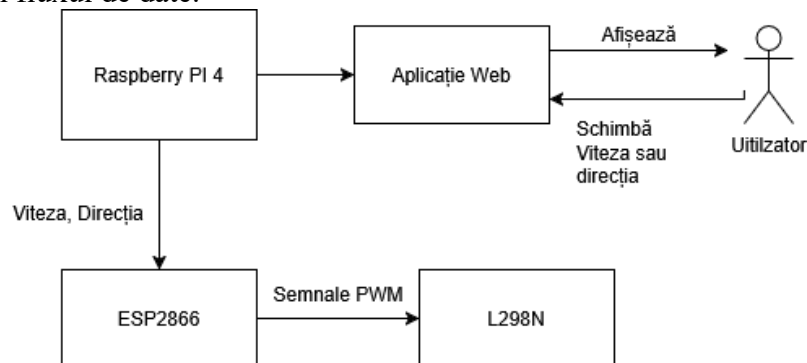


Figura 1. Schema Flowchart a sistemului.

Pe Raspberry este lansat serverul Axum, care poate fi accesat de orice dispozitiv din rețea. La deschiderea paginii web utilizatorul vede un slider și un buton de tip slider. Slider-ul răspunde de viteza dorită de la motor, iar butonul răspunde de direcția lui. Aceste date sunt constatuate de către ESP, astfel nu necesită modificarea constantă a lor pentru a fi valide. ESP2866 ascultă prin serial datele trimise de la aplicația web, după care le convertează în date pe care le va putea utiliza în logica fuzzy și în utilizarea motorului, acestea fiind viteza dorită și direcția. După ce sunt primite datele ele sunt procesate în logica fuzzy, apoi trimise ca semnale PWM și digitale spre controlorul L298N. Pinii GPIO 5 și 4 răspund de direcția mișcării, iar pinul GPIO 0 răspunde de trimiterea semnalului PWM.

Concluzii

În urma elaborării proiectului menționat a fost elaborat, testat și implementat un sistem integrat pentru achiziția datelor pentru un controlor al motorului DC. Rezultatele obținute sunt satisfăcătoare, dar mediocre datorită lipsei senzorului de viteză. În viitor se poate perfecționa calitatea sistemului prin implementarea senzorilor și a securității datelor prin crearea unei pagini de autentificare și transmiterea criptată a datelor.

Bibliografie:

1. A.A. Sadiq, G.A. Bakare, E.C. Anene, H.B. Mamman, A Fuzzy-Based Speed Control of DC Motor Using Combined Armature Voltage and Field Current, IFAC Proceedings Volumes, Volume 46, Issue 20, [accesat la data de 15.03.2025] [Disponibil] ISSN 1474-6670, ISBN 9783902823458.
2. Raspberry PI 4 Datasheet [accesat la data de 28.03.2025] [Disponibil] <https://datasheets.raspberrypi.com/rpi4/raspberry-pi-4-product-brief.pdf>
3. ESP2866 Datasheet [accesat la data de 28.03.2025] [Disponibil] https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf

-
4. L298N Datasheet [accesat la data de 02.04.2025] [Disponibil]
<https://www.st.com/resource/en/datasheet/l298.pdf>
 5. Manualul Limbajului de programare Rust [citat pe 02.04.2025] [Disponibil]
<https://www.rust-lang.org/learn>
 6. Documentatia framework-ului Axum [accesat la data de 02.04.2025] [Disponibil]
<https://docs.rs/axum/latest/axum/>



SUBSECȚIA MICROELECTRONICĂ ȘI NANOTEHNOLOGII
SUBSECTION MICROELECTRONICS AND NANOTECHNOLOGIES

DEVELOPMENT OF A PORTABLE SMD TESTER WITH UART-BASED DATA TRANSMISSION

Cristian ZELENCOV^{1*}, Cătălin CRECIUNEL²,

¹Department of Microelectronics and Biomedical Engineering (DMBE), group MN-211M, Faculty of Computers Informatics, and Microelectronics (FCIM), Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova.

² National Center for Materials Study and Testing, Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova

*Corresponding author: Cristian Zelencov, zelencov.cristian@mib.utm

Scientific supervisor **Anatoli S. Sidorenko**, acad., dr. hab., prof. univ., Technical University of Moldova, Institute of Electronic Engineering and Nanotechnologies „D. Ghitu”, Chisinau, Moldova

Abstract. This paper presents the development of a compact and low-cost device designed for the identification and measurement of various SMD components, including resistors, capacitors, inductors, diodes, and bipolar junction transistors. Based on the GM328-based measurement platform, the device is capable of performing automatic detection and parameter extraction for each component type, offering high accessibility for use in laboratory and industrial environments. One of the key features of the proposed system is the integration of a UART communication interface, which enables real-time data transmission to external systems, including RS232-based industrial controllers. This functionality allows for seamless integration into automated testing setups, where the device can be used as a preliminary control unit to verify component integrity before assembly. Experimental results confirm the device's accuracy and reliability, demonstrating its potential as a versatile tool in quality control workflows and educational applications.

Keywords: SMD testing, embedded system, UART interface, quality control

Introduction

Surface-Mount Device (SMD) technology has become the standard in modern PCB design due to its small size and compatibility with automated assembly [1]. However, as circuits become more compact and complex, testing individual components can be challenging—especially in small labs, workshops, or educational settings. Professional testers offer high precision but are often expensive and bulky, while low-cost [2] alternatives tend to lack functionality or integration options for automated systems.

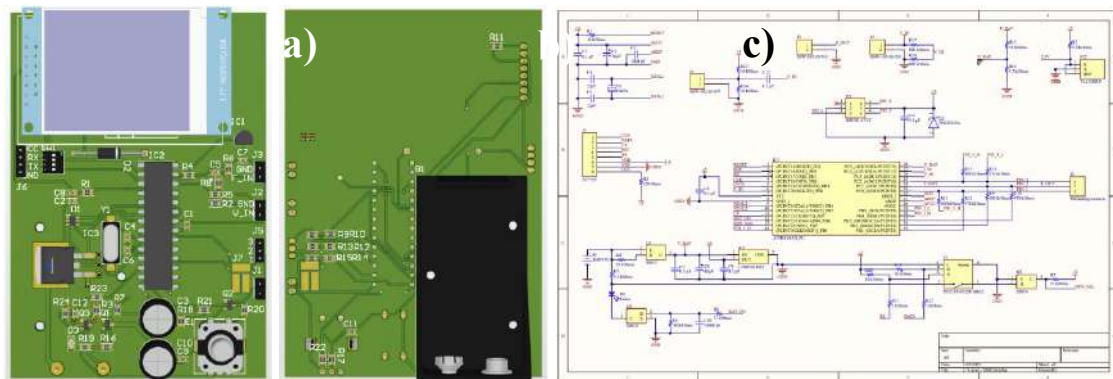


Figure 1. Images of the proposed device:
(a) 3D front view, (b) 3D back view, and (c) schematic diagram.

This work presents a portable SMD component tester based on the open-source GM328 platform, enhanced with a UART interface for data transmission. The device can identify and characterize common passive and semiconductor components, making it useful for prototyping, diagnostics, and integration into control systems. Its modular design and use of widely available parts make it accessible, reproducible, and well-suited for educational use or small-scale production environments that require basic automation.

Theoretical Considerations

The ATmega328's analog-to-digital converter (ADC) enables voltage and parameter measurements with 10-bit resolution, mapping 0–5 V into ~4.88 mV steps. For resistance, a voltage divider with a known resistor R_{ref} and unknown R_x is used. The ADC samples the voltage V_{ADC} across R_x , and the resistance is computed as:

$$R_x = R_{ref} \cdot \frac{V_{ADC}}{V_{supply} - V_{ADC}} \quad (1)$$

Current measurement is achieved indirectly through a shunt resistor R_{shunt} , where the voltage drop across the shunt is sampled by the ADC, and Ohm's law ($I = V_{ADC}/R_{shunt}$) yields the current value.

Capacitance and inductance measurements rely on timing and frequency analysis. For capacitors, the MCU measures the time constant τ of an RC circuit, where $\tau = R_{charge} \cdot C$, enabling capacitance calculation as $C = \tau/R_{charge}$. Inductors are characterized using an LC oscillator circuit, where the resonant frequency f is inversely proportional to the square root of the product of inductance L and capacitance C , expressed as $L = 1/(2\pi f)^2 C$.

The integration of PT100 temperature sensing expands the device's utility to thermal monitoring applications [3]. The PT100, a platinum resistance temperature detector (RTD), exhibits a linear resistance-temperature relationship approximated by:

$$R(T) = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot T) \quad (2)$$

where $R_0 = 100\Omega$ (resistance at 0°C) and $\alpha = 0.00385\Omega$. To measure resistance, the PT100 is integrated into a voltage divider network with a precision reference resistor R_{ref} . The output voltage V_{out} is sampled by the ADC, and the PT100 resistance R_{PT} is derived as:

$$R_{PT} = R_{ref} \cdot \frac{V_{out}}{V_{supply} - V_{out}} \quad (2)$$

Temperature T is then calculated using a simplified linear model:

$$T = \frac{R_{PT} - R_0}{\alpha \cdot R_0} \quad (3)$$

For accuracy beyond –50 °C to 150 °C, the Callendar–Van Dusen equation is preferable. The practical range is –50 °C to 300 °C, limited by material properties and ADC resolution. Error is reduced $\pm 0.1\%$ resistors, and software linearization.

PWM signals from Timer/Counter modules are used to test active components. The duty cycle DDD , set by the Output Compare Register, is:

$$D = \frac{OCR1A}{2^n - 1} \quad (4)$$

with n representing resolution (8 or 10 bits). PWM allows testing under dynamic conditions (e.g., LED dimming, transistor switching).

Table 1

List of components

No.	Component	Qty	Unit Price (USD)	Total (USD)	Part Number (Mouser)
1	9V Battery Holder (with cable and plug)	1	\$5.21	\$5.21	BH9VPC
2	Ceramic Capacitor 1000pF, 25V, X7R, 0603	1	\$0.20	\$0.20	C0603C102K3RACTU (KEMET)
3	Ceramic Capacitor 0.1μF, 16V, X7R, 0603	6	\$0.11	\$0.66	C0603C104K4RACTU (KEMET)
4	Electrolytic Capacitor 10μF, 35V	2	\$0.14	\$0.28	UHE1V100MDD1TD (Nichicon)
5	Ceramic Capacitor 22pF, 50V, NP0, 0603	2	\$0.33	\$0.66	C0603C220J5GACTU (KEMET)
6	Ceramic Capacitor 10000pF, 50V, NP0, 0603	1	\$0.20	\$0.20	C0603C103J5GACTU (KEMET)
7	TVS Diode (USB ESD protection)	1	\$0.25	\$0.25	SRV05-4.TCT (Littelfuse)
8	TVS Diode P6KE6V8A	1	\$0.22	\$0.22	P6KE6.8A-E3/54 (Vishay)
9	Green LED 0805	1	\$0.42	\$0.42	LTST-C170GKT (Lite-On)
10	Mechanical Rotary Encoder	1	\$1.50	\$1.50	PEC11R-4315F-S0012 (Bourns)
11	Adjustable Voltage Reference	1	\$0.81	\$0.81	TL431BILPR (Texas Instruments)
12	Microcontroller ATmega328P DIP	1	\$2.50	\$2.50	ATMEGA328P-PU (Microchip)
13	5V Linear Regulator TO-220	1	\$0.94	\$0.94	L7805ACD2T-TR (STMicroelectronics)
14	2-pin Header, 0.1" (2.54 mm)	3	\$0.50	\$1.50	SSW-102-02-T-S (Samtec)
15	1.8" TFT SPI Display, ST7735	1	\$7.95	\$7.95	Adafruit 358 (via Mouser)
16	3-pin Header, 2.0 mm	1	\$0.30	\$0.30	PH3-03-UA (Adam Tech)
17	4-pin Connector, 2.0 mm, 90°	1	\$0.40	\$0.40	NPPN041BFCN-RC (Sullins)
19	PNP Transistor (S9012)	1	\$0.05	\$0.05	S9012 (Changjiang)
20	NPN Transistor (S9014)	2	\$0.05	\$0.10	S9014 (Changjiang)
21–32	Resistors 1/4W, 0603/0805	~25	\$0.01	\$0.25	RC0603FR-0710KL (Yageo – exemplu)
33	4-pole DIP Switch	1	\$0.50	\$0.50	218-4LPST (CTS)
34	8MHz Crystal, 18pF, HC49/US	1	\$0.30	\$0.30	ABLS-8.000MHZ-B4-T (Abracon)
Total					\$24.05

Table 1 lists the components and their final prices according to the Mouser catalog. Prices reflect current availability and may vary over time.

Software

The software architecture of the portable SMD tester is based on the open-source GM328 project, using the ATmega328 microcontroller for component identification and measurement. The firmware employs auto-detection algorithms to classify resistors, capacitors, and semiconductors via a hierarchical decision tree, combining impedance checks, dynamic response analysis, and I-V characterization for diodes and BJTs (see Figure 1) [5]. Core routines for ADC sampling and UART communication are adapted from the original GM328 firmware, with enhancements for modularity and industrial interoperability. Threshold-based validation and calibration lookup tables, inherited from the open-source community, ensure compatibility with hardware constraints and reproducibility for educational and DIY uses.

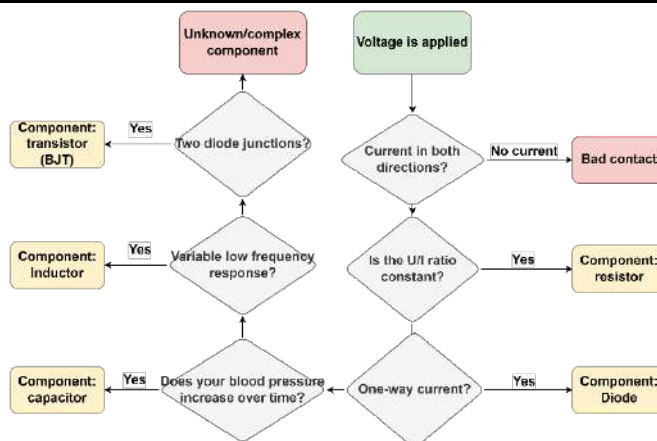


Figure 2. Component Auto-Identification Flowchart

Conclusion

The portable SMD tester automatically identifies and measures diodes (including silicon and germanium types, with forward voltage drops of 0.5–0.8 V and 0.2–0.3 V, respectively) and bipolar junction transistors (BJTs) (NPN/PNP configurations), in addition to resistors and capacitors. This functionality is rooted in the GM328 open-source firmware [6], which employs dynamic I-V characterization and threshold-based decision trees to classify components. For diodes, the system evaluates unidirectional conductivity and reverse leakage, while BJTs are identified via base-emitter biasing and collector current analysis, consistent with standardized multimeter testing methodologies. Experimental validation confirmed detection accuracy within $\pm 3\%$ for passive components, aligning with commercial low-cost testers like the BM8910 and ESR02 Pro, which similarly support semiconductor characterization. Furthermore, the implementation of UART communication—compatible with RS232 via a dedicated adapter—and the novel integration of PT100 temperature sensing significantly extend the device's utility in automated testing environments and thermal diagnostics. The system's reproducibility is reinforced by its modular hardware and adherence to open-source principles, supporting deployment in both educational and industrial workflows.

Acknowledges.

The author is grateful to colleagues, and to the coordinator for their support in the realization of the device.

References

1. GINSBERG, G.L. Surface Mount and Related Technologies; CRC Press, 1989.
2. LAAPAS, A. Cost-Benefit Analysis of Using Test Automation in the Development of Embedded Software. Kustannus-hyötyanalyysi testiautomaation käytöstä sulautettujen ohjelmistojen kehityksessä 2014.
3. CĂTĂLIN, C. Controlul inteligent a temperaturii de la distanță elaborat pentru tratamentul termic al foliilor de zinc; Technical University of Moldova: Chisinau, Moldova, April 5, 2023; Vol. 1, pp 274–278.
4. AVR Transistortester – Mikrocontroller.net. https://www.mikrocontroller.net/articles/AVR_Transistortester (accessed 2025-04-20).
5. BY. Review: Transistor Tester. Hackaday. <https://hackaday.com/2015/04/24/review-transistor-tester/> (accessed 2025-05-23).
6. ZOEWONO, Z.; TOIFUR, M. KELAYAKAN MODUL KIT LCR METER PWM GENERATOR GM328 SEBAGAI ALAT UKUR RESISTANSI. In Prosiding Seminar Nasional MIPA Kolaborasi; 2020; Vol. 2, pp 16–20.

REFERENCE RADIATION SENSOR MODULE OF THE BIRDS-RPM SATELLITE: DESIGN AND FUNCTIONALITY

Cătălin CRECIUNEL^{1*}, Adrian BÎRNAZ²

¹National Center for Materials Study and Testing, Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova

²Department of Microelectronics and Biomedical Engineering (DMBE), Faculty of Computers, Informatics, and Microelectronics (FCIM), Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova.

*Corresponding author: Cătălin Creciunel, catalin.creciunel@mib.utm.md

Scientific supervisor: Nicolae SECRIERU, Assoc. Prof. Dr., National Center of Space Technologies, Technical University of Moldova (TUM), Chișinău, Republic of Moldova

Abstract. *This paper presents the development of a radiation reference sensor module integrated into the BIRDS-RPM satellite platform. The system is designed to monitor ionizing radiation using two distinct sensing units: the AL54 Alpha Sensor for dose rate estimation and the VT01 RADFET for cumulative dose measurement. The AL54 sensor outputs digital pulses proportional to the radiation dose equivalent rate (mSv/h), which are counted and processed by an ATmega1284 microcontroller. The sensor operates within the temperature range of -30 °C to +60 °C and provides a typical pulse rate of 5 cpm $\pm$ 15% at 1 μ Sv/h, with a recommended supply voltage of 5.0 V and typical current consumption of 25 μ A.*

The second detection channel uses a VT01 RADFET, capable of measuring total ionizing dose from 1 cGy to 1 kGy. The analog output voltage, corresponding to the absorbed dose under Co-60 gamma irradiation at $\sim$ 50 Gy/h, is amplified using low-noise operational amplifiers and digitized via the internal ADC of the microcontroller. The RADFET is supplied at 10 V and consumes less than 0.1 μ A.

All collected data from both sensors are transmitted to the main onboard computer via I²C interface for logging and telemetry. This dual-sensor approach enhances the robustness and accuracy of radiation monitoring in orbit, ensuring valuable scientific data for mission evaluation and long-term radiation impact assessment.

Keywords: RADFET, PIN Diodes, Radiation Measurement, Satellite.

Introduction

The increasing demand for precise radiation monitoring in space missions necessitates the development of compact, low-power, and reliable sensor modules capable of operating in harsh orbital environments. This work focuses on designing and implementing a reference electronic board integrating two complementary radiation sensors: the AL54 Alpha Sensor for real-time dose rate measurement and the VT01 RADFET for cumulative dose monitoring.

The AL54 sensor, a silicon PIN diode with an aluminum coating, is sensitive to alpha, beta, and gamma radiation, providing digital pulses proportional to dose rate with minimal power consumption and a wide operating temperature range. The VT01 RADFET, a MOSFET-based device, enables accurate measurement of total ionizing dose over extended mission durations, with proven spaceflight heritage in multiple international missions [1].

The system architecture is centered on the ATmega1284 microcontroller, chosen for its optimal balance between computational resources and energy efficiency. Hardware design was performed using Altium Designer, while firmware development utilized Visual Studio Code with PlatformIO [2], ensuring low-level control and efficient data handling. Key features include precision analog front-end circuitry for RADFET signal amplification and an I²C interface facilitating seamless communication with the satellite's main computer[3].

By deploying and testing this dual-sensor module in orbit, the project aims to validate sensor performance under real space radiation conditions, which are more complex and variable than terrestrial test environments. The collected data will contribute to improved radiation risk assessment and mitigation strategies for future space missions.

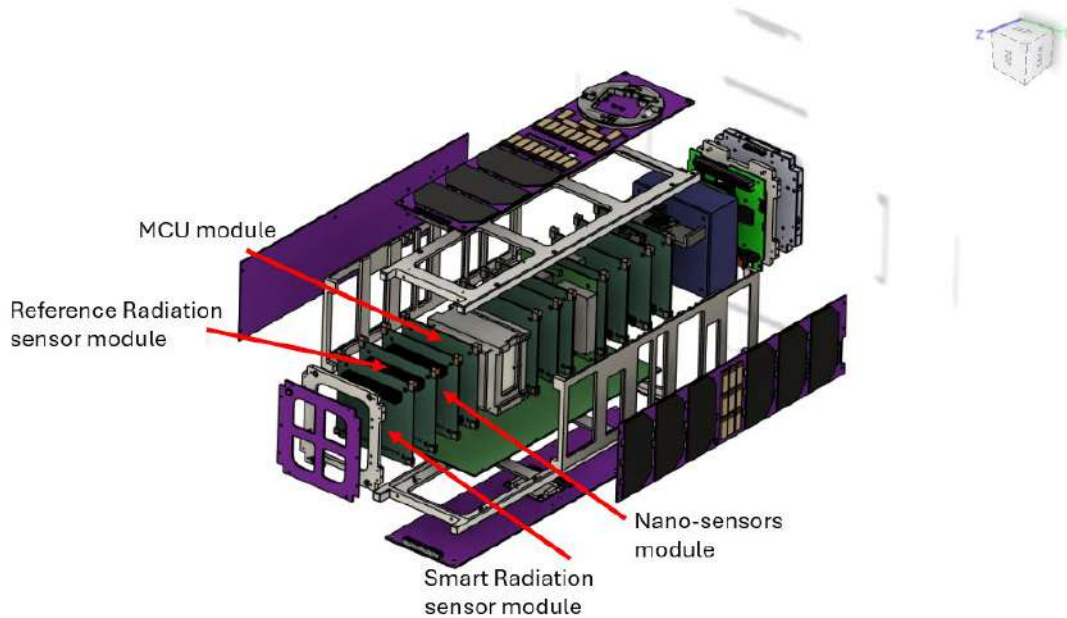


Figure 1. Integration of TUM payload boards into the BIRDS-RPM platform

Hardware Implementation

The hardware design consists of a compact printed circuit board (PCB) measuring 85 mm in height and 90 mm in width, with a standard multilayer thickness of 1.5 mm. Interconnection with other satellite subsystems is facilitated through a 52-pin PC/104 connector, ensuring robust mechanical and electrical interfacing.

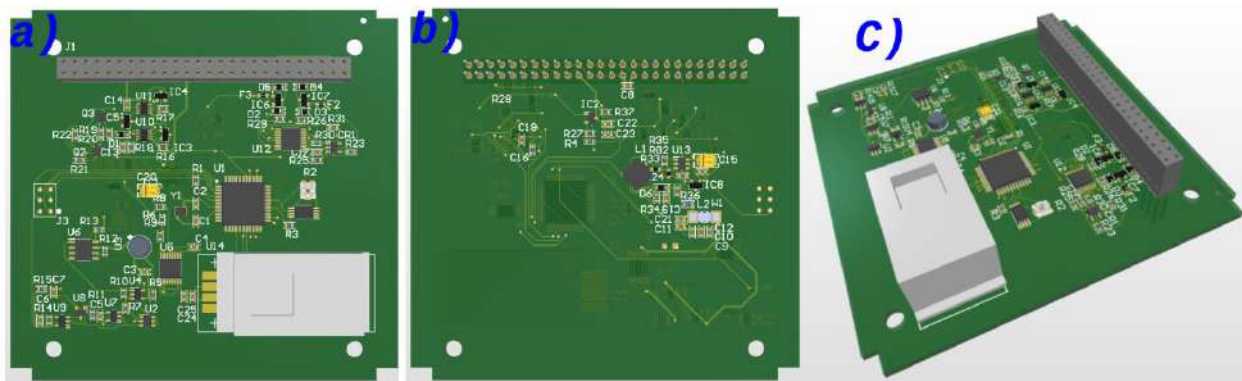


Figure 2. Printed circuit board: (a) front view, (b) rear view, and (c) perspective view.

To streamline development and improve modularity, the design was partitioned into functional blocks. The AL54 sensor module incorporates decoupling capacitors of 1 μF and 0.1 μF to ensure stable power supply filtering and noise reduction. The VT01 RADFET module integrates the MAX313EUE analog switch for input protection, complemented by two LTC2054HVIS5 precision operational amplifiers configured with a MAX5490MA02000 digital potentiometer to enable fine gain adjustment and signal conditioning.

Power conversion is handled by dedicated modules: a 3.3 V regulator employing the TL431ACDBZR voltage reference along with a resistor divider network (10 k Ω and 3.3 k Ω) optimized for low current draw, and a 10 V supply stage based on the MAX1523EUT DC-DC converter paired with the IRLML2803TRPBF MOSFET, inductors, resistors, and capacitors selected according to the device datasheet recommendations to ensure stable and efficient voltage regulation.

The I²C communication lines are protected by circuitry utilizing the MAX313EUE analog switch and the STWD100NPWY3F ESD protection diode array, safeguarding the microcontroller interface against electrostatic discharge and transient voltage spikes. Power input protection is implemented using the LTC4361HTS8-2TRMPBF surge stopper combined with the SIA469DJ-T1-GE3 transient voltage suppressor, providing reliable defense against voltage surges and supply anomalies.

Additional subsystems include a bypass capacitor network strategically placed to minimize high-frequency noise and the central processing unit based on the ATmega1284-AU microcontroller. The ADC reference voltage is stabilized by the LT1009IPWR precision 2.5 V voltage reference, while timing is provided by the ABM10AIG-16.000MHZ-4-T3 crystal oscillator, ensuring accurate and stable clock signals for microcontroller operation.

Software Implementation

The software controls sensor data acquisition and processing through a Timer1 Capture Interrupt Service Routine that increments a pulse counter based on events from the AL54 sensor. At the end of each measurement interval, the system verifies fault signals, reads the RADFET status and ADC dose delta, calculates the radiation dose rate from the pulse count, and transmits the data via I²C upon request. If no data request is received, the timer and counters reset to initiate a new measurement cycle, ensuring uninterrupted monitoring.

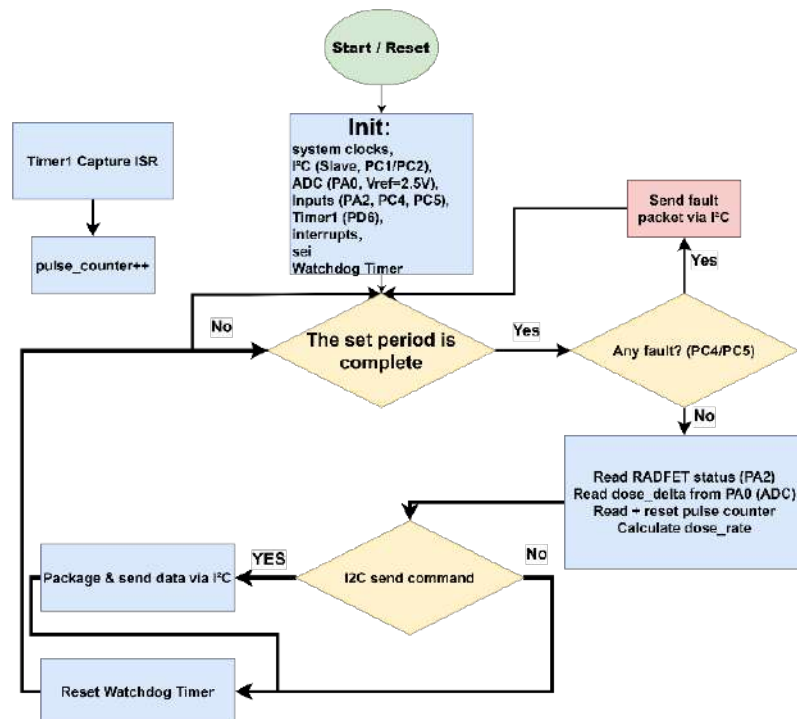


Figure 3. Block diagram illustrating the software workflow for sensor data acquisition, fault detection, dose calculation, and communication.

The watchdog timer is periodically reset to maintain system reliability, and fault conditions trigger immediate transmission of fault packets. This design ensures robust, real-time radiation monitoring and fault management essential for satellite mission integrity.

Conclusions

This project successfully establishes a robust framework for acquiring precise and comprehensive data on space radiation, which is critical for understanding and characterizing the complex radiation environment encountered by satellite systems in orbit. By integrating complementary sensing technologies—real-time dose rate measurement via the AL54 sensor and cumulative dose assessment through the VT01 RADFET—the developed sensor module offers a reliable and versatile platform for continuous radiation monitoring.

The implementation ensures high accuracy and resilience against the harsh conditions of space, enabling detailed evaluation of radiation effects on onboard electronics and materials. Data collected during the satellite's operational lifetime will provide valuable insights into radiation dynamics in low Earth orbit, supporting the refinement of radiation models and enhancing the design of radiation-hardened components.

The comprehensive dataset generated by this mission will be made accessible following the conclusion of the satellite's flight, thereby contributing significantly to the scientific community's efforts in radiation risk assessment and mitigation. Ultimately, these results will inform the development of more effective protection strategies, improving the safety and longevity of future space missions.

Acknowledges. The author expresses sincere gratitude to the supervisor, Dr. Nicolae Secieru, for his guidance and support. This work was carried out within the framework of the institutional research program project 020401.

References

1. KOCAMAN, B.; KOPRU, M.; SOLAK, B.; HARMANDALI, M.; GUVEN, E.; YILMAZ, E. DEVELOPMENT OF RADIATION DETECTOR (RADIATION MODULE) WITH THREE DIFFERENT SENSORS FOR SPACE APPLICATIONS; 2019; Vol. 4, pp 139–144. <https://doi.org/10.37392/RapProc.2019.28>.
2. CĂTĂLIN, C. Controlul inteligent a temperaturii de la distanță elaborat pentru tratamentul termic al foliilor de zinc; Technical University of Moldova: Chisinau, Moldova, April 5, 2023; Vol. 1, pp 274–278.
3. SECRIERU, N.; CARBUNE, V.; ZADOROJNEAC, T.; MELNIC, V.; IVANOVICI, M.; BERTESCU, A.; POPA, S.; KAZAK, A. ARCHITECTURE OF THE SPACE RADIATION SENSOR SATELLITE MODULE BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE. J. Eng. Sci. 2025, 31 (4), pp. 73–83. [https://doi.org/10.52326/jes.utm.2024.31\(4\).05](https://doi.org/10.52326/jes.utm.2024.31(4).05).

ВЛИЯНИЕ ДВУМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ В МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Владислав КИРИЛЕНКО

Департамент Микроэлектроники и Биомедицинской Инженерии, группа MN-241M, Факультет
Вычислительной Техники, Информатики и Микроэлектроники, Технический Университет Молдовы,
Кишинев, Молдова

*Автор-корреспондент: Владислав Кириленко, e-mail: vladislav.chirilenco@mib.utm.md

Научный руководитель: Лупан ОЛЕГ, профессор университета, доктор хабилитат,
Технический Университет Молдовы

Аннотация. В последние десятилетия микроэлектроника сталкивается с фундаментальными ограничениями традиционных кремниевых технологий. Миниатюризация транзисторов приближается к физическим пределам, что требует поиска альтернативных материалов. Двумерные материалы, такие как дисульфид молибдена (MoS_2) и гексагональный нитрид бора (h-BN), представляют собой перспективные решения благодаря своим уникальным электронным, оптическим и механическим свойствам. MoS_2 является прямозонным полупроводником, что делает его привлекательным для создания ультратонких транзисторов, фотодетекторов и гибкой электроники. В свою очередь, h-BN обладает высокими диэлектрическими свойствами и используется как изолирующий слой в многослойных структурах на основе двумерных материалов. В работе рассматриваются основные свойства и преимущества MoS_2 и h-BN и других двумерных материалов, их применение в современных электронных устройствах, а также ключевые проблемы, связанные с интеграцией в существующие технологии, также проводится анализ перспектив массового внедрения 2D-материалов в полупроводниковую индустрию, включая разработку новых транзисторных архитектур и гибких электронных компонентов. Применение двумерных материалов предоставляет огромный потенциал и открывает новые возможности в области микроэлектроники, однако дальнейшее развитие требует совершенствования методов производства и интеграции с традиционными технологиями.

Ключевые слова: MoS_2 , h-BN , 2D-материалы, запрещенная зона, литография, альтернативные полупроводники.

Введение

Микроэлектроника — одна из ключевых отраслей современной науки и техники, лежащая в основе развития вычислительной техники, телекоммуникаций, медицинской электроники и систем автоматизации [1]. Её эволюция началась с создания первых полупроводниковых приборов и стремительного перехода к интегральным схемам, позволивших значительно уменьшить размеры устройств при одновременном увеличении их функциональности и производительности. Закон Мура, сформулированный в 1965 году, на протяжении десятилетий служил ориентиром для всей индустрии: количество транзисторов на кристалле удваивалось каждые 18–24 месяца. [3]

Однако с приближением к нанометровым масштабам начали проявляться фундаментальные физические и технологические ограничения традиционной кремниевой электроники. Среди них — квантовые эффекты, утечка тока, тепловые потери и снижение надежности. Уменьшение размеров транзисторов сопровождается ростом плотности

интеграции, что требует новых материалов с лучшими электрическими и тепловыми характеристиками.

В условиях этих ограничений особый интерес представляют двумерные материалы — атомно-тонкие кристаллические структуры с уникальными физико-химическими свойствами. В отличие от объемных материалов, двумерные материалы обладают высокой подвижностью носителей заряда, гибкостью, прозрачностью и устойчивостью к воздействию внешней среды. Особенно перспективными считаются дисульфид молибдена (MoS_2) и гексагональный нитрид бора (h-BN). [4,8] MoS_2 демонстрирует полупроводниковые свойства с прямой запрещенной зоной, а h-BN используется как диэлектрик и подложка в многослойных структурах.

Прямая и непрямая запрещенная зона

Запрещенная зона (или энергетическая щель) — это диапазон энергий, в котором электронные состояния недопустимы. Электроны могут находиться либо в валентной зоне (где они связаны с атомами), либо в зоне проводимости (где они свободны для переноса тока), но не в запрещенной зоне. Чтобы материал проявлял полупроводниковые свойства, между этими зонами должна существовать энергетическая щель шириной от 0 до 4 эВ. [2]



Рисунок 1. Запрещенная зона

В прямозонных полупроводниках минимум зоны проводимости и максимум валентной зоны находятся при одинаковом значении импульса (волнового вектора k). Это значит, что электрон может напрямую перейти из валентной зоны в зону проводимости (или наоборот), испустив или поглотив фотон — без необходимости изменения импульса. Такие материалы эффективно поглощают и излучают свет, что делает их пригодными для использования в светодиодах, лазерах и солнечных элементах. Пример прямозонного полупроводника — дисульфид молибдена (MoS_2) в монослойной форме. [5]

В непрямоzonных полупроводниках минимум зоны проводимости и максимум валентной зоны находятся при разных значениях импульса. При переходе электрона между этими зонами требуется не только изменение энергии, но и импульса. Это возможно только при участии фононов (квантов колебаний кристаллической решетки), что делает такие переходы менее вероятными и менее эффективными для оптоэлектронных процессов. Кремний является типичным примером непрямоzonного полупроводника. [2]

На приведённом выше Рис. 2 визуализированы различия между прямой и непрямой запрещенной зоной. На левой части изображён прямозонный материал, где минимум зоны проводимости и максимум валентной зоны совпадают по импульсу. На правой — непрямоzonный материал, где эти экстремумы расположены на разных значениях волнового вектора.

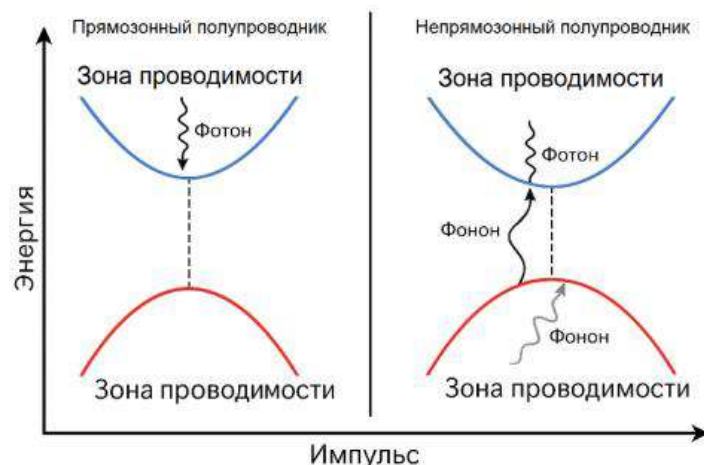


Рисунок 2. Различие между прямозонным и непрямозонным полупроводниками

Двумерные материалы в микроэлектронике

Двумерные материалы (2D-материалы) представляют собой кристаллы, состоящие из одного или нескольких атомных слоёв, толщина которых составляет всего несколько ангстрем. Благодаря такой структуре они обладают уникальными физико-химическими свойствами, минимальной толщине и высокой степени упорядоченности. Именно за счет данных характеристик двумерные материалы находят нехарактерными для объемных (3D) материалов и именно поэтому 2D-материалы имеют широкое применение в нано- и микроэлектронике. Среди ключевых особенностей 2D-материалов — высокая подвижность носителей заряда, высокая прочность, гибкость, прозрачность, а также улучшенные теплопроводные и оптоэлектронные характеристики. Эти свойства делают их особенно привлекательными для применения в нано- и микроэлектронике.

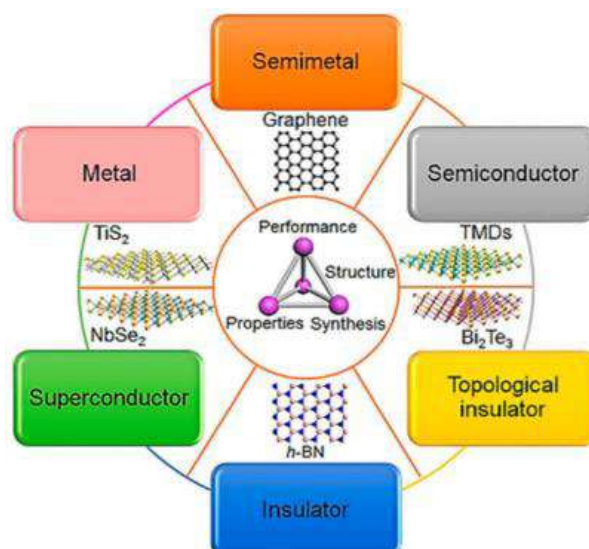


Рисунок 3. Схематическая классификация двумерных 2D-материалов [5]

На Рис. 3 показано, как различные двумерные материалы классифицируются по их электрическим свойствам:

- полуметаллы — например, графен, обладающий выдающейся электропроводностью, высокой подвижностью носителей заряда и механической прочностью. Однако отсутствие запрещённой зоны ограничивает его применение в качестве активного элемента в транзисторах;

- полупроводники — включая дихалькогениды переходных металлов (TMDs), такие как MoS_2 , которые имеют прямую запрещённую зону и применяются в создании тонкоплёночных транзисторов, фотодетекторов и гибкой электроники;
- изоляторы — например, гексагональный нитрид бора (h-BN), обладающий широкой запрещённой зоной ($\sim 5,9$ эВ). Он используется как диэлектрик и подложка благодаря высокой химической стабильности и термостойкости;
- металлы — такие как TiS_2 и NbSe_2 , применяемые как контактные и проводящие слои;
- сверхпроводники — некоторые TMDs, например, NbSe_2 , демонстрируют сверхпроводимость в условиях низких температур;
- топологические изоляторы — материалы, такие как Bi_2Te_3 , которые ведут себя как изоляторы в объёме, но имеют проводящие поверхностные состояния.

Среди наиболее исследуемых и перспективных 2D-материалов в области электроники — дисульфид молибдена (MoS_2) и гексагональный нитрид бора (h-BN). MoS_2 является полупроводником с прямой запрещённой зоной около 1,8 эВ, что делает его пригодным для создания транзисторов, фотодетекторов и других активных электронных компонентов. Он обладает высокой стабильностью и может быть использован для изготовления устройств толщиной в один атомный слой.

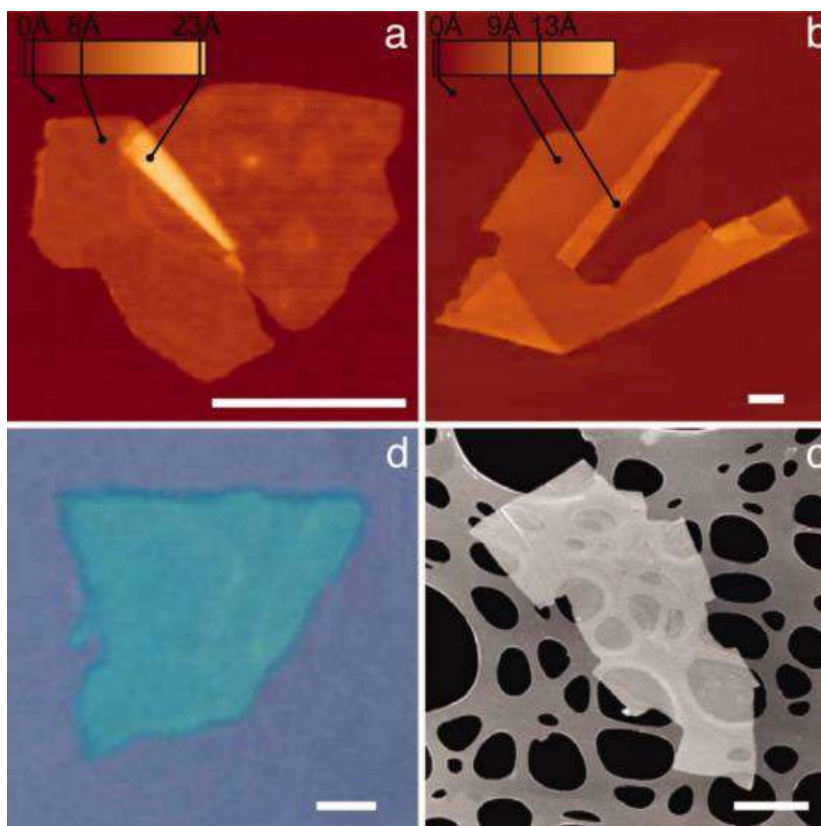


Рисунок 4. Полученные двумерные структуры: а) однослойный кристалл NbSe_2 , б) графит, в) $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$, д) MoS_2 . Масштаб: 1 мкм. Изображения «а» и «б» получены с помощью атомно-силового микроскопа, «д» и «с» помощью оптического микроскопа [7]

Гексагональный нитрид бора (h-BN) по своей структуре схож с графеном, но при этом является отличным диэлектриком с широкой запрещённой зоной ($\sim 5,9$ эВ). Он широко применяется как изолирующий слой и подложка в многослойных наноструктурах, благодаря своей химической инертности и тепловой устойчивости.

Помимо MoS_2 (представлен на Рис. 2) и h-BN, активные исследования ведутся в отношении других 2D-материалов, таких как включая графен (обладает высокой

электропроводностью, но не имеет запрещённой зоны), чёрный фосфор (BP) (широко регулируемая запрещённая зона и высокая подвижность) и семейство переходных металло-дихалькогенидов (TMDs), которые включают в себя однослойный кристалл NbSe₂, дисульфид молибдена (MoS₂), дисульфид вольфрама (WS₂) и многие другие.

Свойства 2D-материалов и их преимущества перед кремнием

По мере уменьшения размеров транзисторов до нанометрового масштаба современная кремниевая микроэлектроника сталкивается с рядом физических и технологических ограничений. В связи с этим растёт интерес к двумерным (2D) материалам, которые обладают уникальными свойствами благодаря своей атомно-тонкой структуре. Среди них особое внимание уделяется дисульфиду молибдена (MoS₂), гексагональному нитриду бора (h-BN), а также графену, дисульфиду вольфрама (WS₂) и диселениду вольфрама (WSe₂), которые обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционным кремнием и открывают новые возможности для дальнейшего прогресса в нанoeлектронике. [5,6,8]

MoS₂ представляет собой слоистый полупроводниковый материал, относящийся к дихалькогенидам переходных металлов (TMDs). Он обладает прямой запрещённой зоной около 1,8 эВ в монослойной форме, что делает его подходящим для создания транзисторов, способных эффективно переключать электрический ток. [5] В отличие от графена, у которого отсутствует запрещённая зона, MoS₂ может быть использован в логических элементах и цифровой электронике.

Благодаря своей двумерной структуре, MoS₂ позволяет создавать ультратонкие полевые транзисторы, в которых толщина канала может составлять всего один атомный слой. Это значительно снижает утечки тока и позволяет достичь высокой степени миниатюризации. Кроме того, MoS₂ обладает высокой механической гибкостью и прозрачностью, что делает его отличным кандидатом для гибкой, прозрачной и носимой электроники. Однако основными его недостатками являются относительно низкая подвижность носителей заряда по сравнению с графеном и высокое контактное сопротивление при соединении с металлами, что может ограничивать скорость работы устройств.



Рисунок 5. Дисульфид молибдена [8]

h-BN — это изолирующий двумерный материал с широкой запрещённой зоной (3–7,5 эВ), обладающий высокой химической стабильностью и термостойкостью. Он выступает в роли превосходного диэлектрика и часто используется как подложка или межслойной изолятор в многослойных гетероструктурах на основе 2D-материалов. [8]

По сравнению с традиционным диоксидом кремния (SiO_2), h-BN обеспечивает более чистую и ровную поверхность, снижает количество дефектов и улучшает подвижность носителей заряда в активных слоях. Также он устойчив к воздействию высоких температур, что особенно важно при производстве и эксплуатации наноразмерных устройств.

Тем не менее, его электронная инертность не позволяет использовать h-BN в активных элементах схем — он применим лишь как изолятор или подложка. К тому же, синтез высококачественных больших плёнок h-BN остаётся сложной задачей.

Но не смотря на все свои недостатки, MoS_2 и h-BN обладают характеристиками, позволяющими преодолеть ограничения кремниевых технологий и открыть новые возможности для создания высокоэффективных и миниатюрных электронных компонентов.

Графен — это монослой атомов углерода, соединённых в гексагональную решётку. Он является проводником с феноменальной подвижностью носителей заряда (до $150\,000\text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$) и прочностью. Однако, графен не имеет запрещённой зоны, что ограничивает его применение в логических схемах. Несмотря на это, он отлично подходит для контактных электродов, прозрачных токопроводящих плёнок, сенсоров и гибкой электроники. Также он может использоваться в качестве проводящего слоя в гетероструктурах с другими 2D-полупроводниками. Тем не менее, отсутствие запрещённой зоны делает его непригодным для использования в логических схемах и транзисторах, где требуется чёткое переключение состояний. Кроме того, обеспечение стабильного химического легирования и задание запрещённой зоны остаются нерешённой задачей. [6,9]

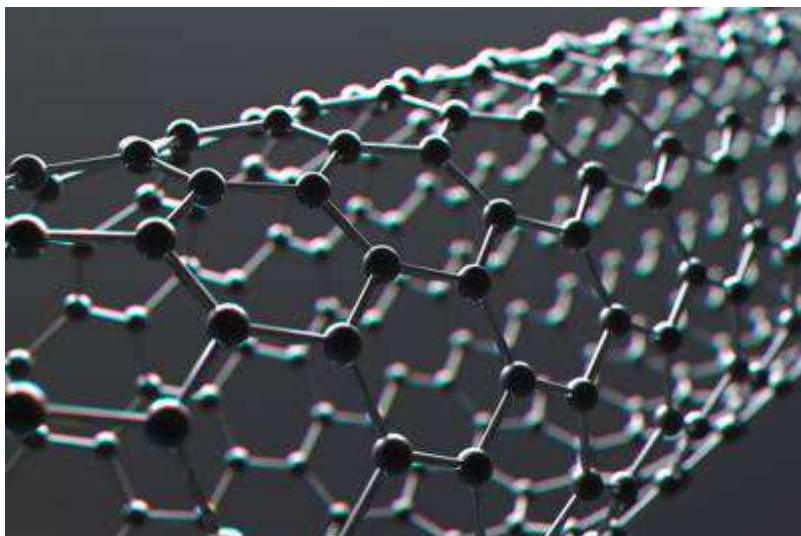


Рисунок 6. Молекулярная структура графена [10]

Дисульфид и диселенид вольфрама — это представители дихалькогенидов переходных металлов (TMDs), которые благодаря своей двумерной слоистой структуре и наличию запрещённой зоны являются одними из наиболее перспективных полупроводниковых материалов для микроэлектроники нового поколения.

WS_2 (дисульфид вольфрама) обладает шириной запрещённой зоны 1,4–2,26 эВ, которая в монослойной форме является прямой, что особенно важно для оптоэлектроники.

Он характеризуется высокой термической и химической стабильностью, хорошей фоточувствительностью и стабильной работой при ультратонких толщинах.

Благодаря этим свойствам WS_2 находит широкое применение в фотодетекторах, светочувствительных транзисторах, гибких сенсорах, а также в многослойных гетероструктурах совместно с другими 2D-материалами. Кроме того, он демонстрирует

низкий уровень шума при детектировании света, что делает его подходящим для высокочувствительных оптоэлектронных устройств. Однако WS_2 демонстрирует более низкую подвижность носителей, чем MoS_2 , и требует тщательного контроля над числом слоёв и дефектами, особенно при масштабном синтезе.

WSe_2 (диселенид вольфрама) — ещё один важный полупроводниковый 2D-материал, обладающий прямой запрещённой зоной в диапазоне 1,7–2,3 эВ и относительно высокой симметрией электронной структуры. Он отличается высокой фотооткликой, чувствительностью к поляризации света, а также возможностью эффективного переключения спинового и зарядового состояния, что делает его особенно интересным для спинтроники и полевых транзисторов с высокой контрастностью сигнала. Кроме того, WSe_2 может использоваться в качестве активного материала в гибких солнечных элементах и фотогальванических устройствах. Но, как и WS_2 , его массовое производство с высокой однородностью и кристаллическостью затруднено, а контактное сопротивление при соединении с металлами остаётся высоким.



Рисунок 7. Диселенид вольфрама и его молекулярная структура [11]

Черный фосфор (BP) представляет собой слоистый полупроводник с шириной запрещённой зоны, зависящей от числа слоёв (от ~0,3 эВ в многослойной форме до ~2 эВ в монослое). Его отличает высокая анизотропная подвижность носителей заряда (~1000 $\text{см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$) и чувствительность в инфракрасном диапазоне. Эти свойства делают черный фосфор идеальным материалом для ИК-фотодетекторов, логических устройств, сенсоров газа и биосенсоров, а также в области фотоники. Однако его недостатком остаётся нестабильность на воздухе — он окисляется, что требует дополнительной инкапсуляции. Однако его главный недостаток — неустойчивость к воздействию кислорода и влаги, из-за чего он быстро окисляется на воздухе. Это требует использования сложных методов инкапсуляции или герметизации, что усложняет его практическое применение.



Рисунок 8. Черный фосфор [12]

TiS₂ (дисульфид титана) — это полуметаллический 2D-материал, используемый в качестве электродов и в термоэлектрических элементах. Он обладает хорошей проводимостью и потенциалом применения в аккумуляторах и ионных конденсаторах, где важна высокая удельная поверхность и проводимость. Тем не менее, в отличие от полупроводников, он не имеет запрещённой зоны, что ограничивает его применение в цифровой логике. Также его теплопроводность и термостабильность ниже, чем у других материалов той же группы.

Bi₂Te₃ (трихалькогенид висмута) — это топологический изолятор, обладающий уникальными свойствами: он изолирует ток в объёме, но проводит по краям поверхности, причём такие поверхностные токи обладают устойчивостью к рассеянию. [13] Bi₂Te₃ уже применяется в термоэлектрических генераторах, охладителях и устройствах спинтроники, а также рассматривается как платформа для создания квантовых вычислительных компонентов. Основной недостаток трихалькогенида висмута — низкая химическая стабильность и сложность интеграции в стандартные микроэлектронные процессы, а также ограниченные данные о поведении в 2D-форме в реальных условиях.

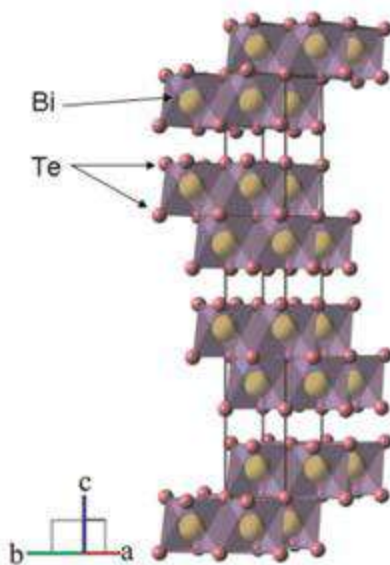


Рисунок 9. Кристаллическая структура трихалькогенида висмута [13]

Несмотря на стремительное развитие области двумерных материалов и многообещающие результаты исследований, кремний остаётся доминирующим материалом в микроэлектронике. Это связано с:

- Развитой производственной инфраструктурой, накопленным опытом и стандартизированными технологическими процессами;
- Относительно низкой стоимостью и доступностью сырья;
- Стабильными и предсказуемыми свойствами, подходящими для массового производства.

Однако по мере продвижения к технологическим нормам 5 нм и ниже, всё более явно проявляются ограничения кремния:

- Его непрямая запрещённая зона (1,1 эВ) снижает эффективность излучения и поглощения света, что делает кремний неэффективным в оптоэлектронике;
- Рост токов утечки, паразитных ёмкостей и тепловых эффектов в наноразмерных транзисторах;
- Жёсткость и непрозрачность кремния, исключающие его применение в гибкой электронике и носимых устройствах.

Тем не менее, несмотря на указанные ограничения, исследование и внедрение двумерных материалов продолжается стремительными темпами. Каждый из них раскрывает потенциал в своей области применения, а создание гибридных гетероструктур позволяет компенсировать недостатки отдельных компонентов за счёт комбинирования их свойств. Например, графен может быть использован как электрод, MoS_2 — как активный канал, а h-BN — как диэлектрический барьер. Такая многослойная архитектура расширяет возможности проектирования и выводит электронику за пределы возможностей традиционного кремния.

Таблица 1.

Свойства двумерных материалов

№ п/п	Двумерные материалы	Ширина запрещенной зоны, эВ	Тип запрещенной зоны	Подвижность носителя заряда $\text{см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$	Толщина слоя, нм	Теплопроводность, Вт/м·К	Тип
1	Графен (C_n)	0	—	20000-150000	~0,34	~5000	Проводник (полуметалл)
2	Дисульфид молибдена (MoS_2)	1,2-1,8	Прямая (в монослое)	200 -500	~0,65	~85	Полупроводник (диамагнетик)
3	Нитрид бора (h-BN)	3-7,5	Прямая	1-7	~0,33	~400 – 600	Изолятор
4	Дисульфид вольфрама (WS_2)	1,4-2,26	Прямая	50-150	~0,65	~140	Полупроводник
5	Диселенид Вольфрама (WSe_2)	1,71 -2,3	Прямая	80-120	~0,65	~130	Полупроводник
6	Черный фосфор (BP)	0,3 – 2	Прямая (в монослое)	~1000	~0,5	~12	Полупроводник
7	TiS_2	~0,2	Полуметал	~1000	~0,6	~30–60	Полуметал
8	Bi_2Te_3	~0,15	Узкая прямая	100 – 400	~1	~2	Топологический изолятор
9	SnS_2	~2,2	Прямая	10 – 100	~0,6	—	Полупроводник
10	ReS_2	1,4 – 1,6	Прямая	1 – 20	~0,7	~20	Полупроводник

Как видно из Таб. 1, несмотря на более низкую подвижность в сравнении с графеном и с другими альтернативами, MoS_2 обладает значительными преимуществами в миниатюризации и энергоэффективности. Графен демонстрирует рекордные значения подвижности, но отсутствие запрещенной зоны ограничивает его применение в цифровой логике.

Применение в 2D-материалов современной микроэлектронике

Двумерные материалы находят всё более широкое применение в микро- и наноэлектронике благодаря сочетанию уникальных свойств, таких как атомная толщина, высокая механическая прочность, термостабильность, химическая инертность, высокая подвижность носителей заряда и возможность формирования сверхплотных, многослойных и гибких структур. Наиболее активное развитие наблюдается в таких

областях, как транзисторная логика, гибкая электроника, сенсоры, оптоэлектроника, тепловое управление, энергетика и квантовые вычисления.

Одним из приоритетных направлений является создание полевых транзисторов нового поколения. Такие материалы, как дисульфид молибдена (MoS_2), дисульфид вольфрама (WS_2) и диселенид вольфрама (WSe_2), обладают прямой запрещённой зоной, высокой стабильностью и совместимостью с традиционными литографическими техниками. Это делает их идеальными кандидатами для использования в качестве каналов в ультратонких полевых транзисторах, где толщина активного слоя может составлять всего один атомный уровень. Такие транзисторы демонстрируют отличное соотношение тока включения к току выключения, низкий уровень утечек и высокую энергоэффективность. [5] Особенно интересен WSe_2 , который, в зависимости от условий, может функционировать как n- или p-канальный материал, что упрощает реализацию комплементарной логики на основе одного и того же вещества.

Не менее важным направлением применения двумерных материалов является гибкая и прозрачная электроника. Благодаря своей структурной прочности и способности выдерживать изгибы, растяжения и другие механические деформации, такие материалы, как графен, MoS_2 и чёрный фосфор (BP), активно используются при разработке гибких дисплеев, электронного текстиля, носимых сенсоров и тактильных панелей. [6,7] Графен, помимо высокой проводимости, обладает ещё и прозрачностью, что делает его незаменимым для прозрачных электродов и сенсорных интерфейсов. Чёрный фосфор, в свою очередь, проявляет направленную (анизотропную) проводимость и чувствительность к инфракрасному излучению, благодаря чему его применяют в инфракрасных детекторах и фотонике.

Двумерные материалы также демонстрируют превосходные характеристики в области сенсорики и оптоэлектроники. За счёт высокой чувствительности к изменениям в окружающей среде, материалы вроде MoS_2 , ReS_2 и SnS_2 используются в газоанализаторах, способных регистрировать даже следовые концентрации вредных веществ. В фотодетекторах (одна из его вариантов архитектуры представлена на Рис. 3), работающих в ультрафиолетовом, видимом и инфракрасном диапазонах, активно применяются WS_2 и WSe_2 . Благодаря малой толщине и высокой подвижности носителей, такие сенсоры обладают быстрым откликом, высокой чувствительностью и стабильностью работы при низких напряжениях. [5] В свою очередь, графен и его производные широко используются в биосенсорах — для мониторинга уровня глюкозы, определения pH, распознавания ДНК и биомаркеров. Биосенсорные платформы на основе графена и MoS_2 уже применяются в носимых медицинских устройствах и исследуются как компоненты неинвазивной диагностики.

Особую роль двумерные материалы играют в системах теплового управления и изоляции. Гексагональный нитрид бора (h-BN) — один из немногих известных двумерных изоляторов, сочетающих высокую теплопроводность с электрической прочностью. Он служит в качестве межслойного диэлектрика, подложки и теплоотводящего слоя в многослойных гетероструктурах. В отличие от традиционного диоксида кремния (SiO_2), h-BN способствует снижению количества дефектов, минимизации утечек и увеличению стабильности электронных компонентов, особенно при высоких плотностях интеграции. [8] В сочетании с графеном и MoS_2 он используется для создания вертикальных транзисторов и гетероструктур с высокой производительностью.

Кроме того, 2D-материалы активно применяются в энергетике. Материалы с подходящей шириной запрещённой зоны, такие как MoS_2 , WSe_2 и чёрный фосфор, используются в фотоэлектрических элементах и гибких солнечных панелях. Благодаря возможности формировать тонкие, лёгкие и полупрозрачные слои, они позволяют разрабатывать автономные источники питания для носимой электроники. В

термоэлектрических устройствах особое место занимают Bi_2Te_3 и TiS_2 , которые позволяют преобразовывать тепло в электричество, обеспечивая питание для сенсоров и микросхем без внешних батарей.

Помимо всего вышесказанного, ряд 2D-материалов демонстрирует уникальные свойства, применимые в спинтронике и квантовых вычислениях. Топологические изоляторы, такие как Bi_2Te_3 , обеспечивают устойчивое поверхностное проводящее состояние, независимое от рассеяния, что делает их перспективными для создания логических схем нового поколения и квантовых логических элементов. [13] Материалы, обладающие спиновой поляризацией, такие как MoTe_2 и WSe_2 , уже используются в лабораторных прототипах спиновых транзисторов и туннельных элементов с магнитным управлением.

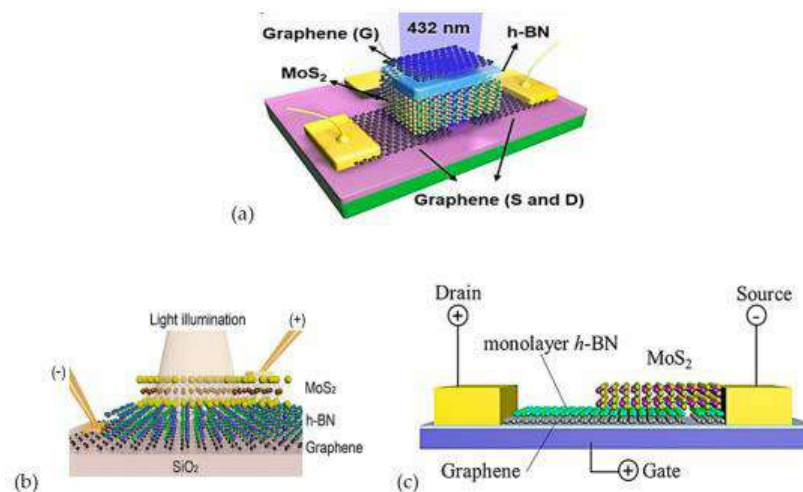


Рисунок 10. Архитектура фотодетектора с латеральной гетероструктурой:
а) графен/ MoS_2 /графен и вертикальной гетероструктурой, б) монослой MoS_2 /h-BN/графен, в) многослойный MoS_2 /h-BN/графен [5]

Выводы

Двумерные материалы открывают новые возможности в развитии микро- и нанoeлектроники, предлагая решения для преодоления физических ограничений кремниевых технологий. Их ключевые преимущества — атомная толщина, высокая подвижность носителей, гибкость и возможность формирования гетероструктур — делают их востребованными в транзисторах, фотодетекторах, сенсорах и элементах квантовой электроники.

Несмотря на прогресс, массовое внедрение 2D-материалов сдерживается техническими трудностями: сложностью получения качественных монослоев, несовместимостью с CMOS-технологией, нестабильностью некоторых материалов и проблемами контактов. Однако развитие методов синтеза, инкапсуляции и архитектурных решений (например, гетероструктур) постепенно приближает их к промышленной интеграции.

В рамках данной работы было проанализировано множество двумерных материалов, включая MoS_2 , WS_2 , WSe_2 , h-BN, графен и чёрный фосфор. Наиболее перспективным является MoS_2 . Именно данный материал сочетает в себе стабильность, прямую запрещённую зону и технологичность. Он выделяется как оптимальный кандидат для дальнейших исследований и практического применения в гибкой электронике и оптоэлектронике будущего.

Благодарности

Автор научной работы выражает благодарность профессору, доктору О. Лупану, а также профессору, доктору В. Крецу, Технический Университет Молдовы, кафедра Вычислительной Техники, Информатики и Микроэлектроники за поддержку и плодотворные обсуждения.

Библиография

1. Kenneth Carless Smith, Adel S. Sedra, *Microelectronic Circuits* (Oxford Series in Electrical & Computer Engineering) 6th Edition, Oxford Uni. Oxford University Press; 6th edition (December 15, 2009). Disponibil online: https://www.amazon.com/Microelectronic-Circuits-Electrical-Computer-Engineering/dp/0195323033#detailBullets_feature_div.
2. S. Nooshin Banitaba, A. Ahmed Qaed Ahmed, M.-R. Norouzi, and S. Khademolqorani, "Chapter Eleven - Biomedical applications of non-layered 2DMs," in *Non-layered 2D materials*, vol. 113, I. H. B. T.-S. and S. Abidi, Ed., Elsevier, 2023, pp. 297–322. doi: <https://doi.org/10.1016/bs.semsem.2023.09.013>.
3. G. Moore, "Cramming more components onto integrated circuits, Reprinted from *Electronics*, volume 38, number 8, April 19, 1965, pp.114 ff," *Solid-State Circuits Newsletter*, IEEE, vol. 11, pp. 33–35, Oct. 2006, doi: 10.1109/N-SSC.2006.4785860. Disponibil online: <https://www.cs.utexas.edu/~fussell/courses/cs352h/papers/moore.pdf>.
4. H.-S. P. Wong and D. Akinwande, Eds., *Carbon Nanotube and Graphene Device Physics*, Cambridge: Cambridge University Press, 2011. Disponibil online: https://books.google.ru/books?id=UKKVX2bUy_kC&printsec=frontcover&hl=ru#v=onepage&q&f=false.
5. U. Sundararaju, M. A. S. M. Haniff, P. J. Ker, and P. S. Menon, "Recent Advances in Synthesis and Application of Graphene and 2D Materials: A Review," *Materials*, vol. 14, no. 7, p. 1672, 2021, doi: 10.3390/ma14071672. Disponibil online: <https://www.mdpi.com/1996-1944/14/7/1672>.
6. M. Chhowalla, H. S. Shin, G. Eda, L.-J. Li, K. P. Loh, and H. Zhang, "The chemistry of two-dimensional layered transition metal dichalcogenide nanosheets," *Nature Chem.*, vol. 5, pp. 263–275, 2013, doi: 10.1038/nchem.1589. Disponibil online: <https://www.nature.com/articles/nchem.1589>.
7. K. S. Novoselov, D. Jiang, F. Schedin, T. J. Booth, V. V. Khotkevich, S. V. Morozov, and A. K. Geim, "Two-dimensional atomic crystals," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, vol. 102, no. 30, pp. 10451–10453, 2005, doi: 10.1073/pnas.0502848102. Disponibil online: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.0502848102#>.
8. Дисульфид молибдена. Disponibil online: https://en.wikipedia.org/wiki/Molybdenum_disulfide?ysclid=maveom9b62927400322.
9. X. Li, L. Tao, Z. Chen, H. Fang, X. Li, X. Wang, J. B. Xu, and H. Zhu, "Graphene and Related Two-Dimensional Materials: Structure-Property Relationships for Electronics and Optoelectronics," *Appl. Phys. Rev.*, vol. 4, p. 021306, 2017, doi: 10.1063/1.4983646. Disponibil online: <https://pubs.aip.org/aip/apr/article-abstract/4/2/021306/279721/Graphene-and-related-two-dimensional-materials?redirectedFrom=fulltext>.
10. Graphite close. Disponibil online: <https://www.shutterstock.com/ru/image-illustration/this-image-showcases-detailed-computergenerated-view-2439920601>.
11. Свойства и использование диселенида вольфрама (WSe₂). Disponibil online: <https://ru.mfgrobots.com/material/metal/1010000200.html>.
12. Black Phosphorus Ampoule. Disponibil online: https://ru.wikipedia.org/wiki/Файл:Black_Phosphorus_Ampoule.jpg.

13. V. A. Kokh, "Two-dimensional materials: synthesis, structure and properties," *Izv. Sib. Otd. RAN*, vol. 21, 2021. Disponibil online: https://www.igm.nsc.ru/images/diss/loadfiles_dzubenko/kokh/21.pdf.
14. H. Raza, Ed., *Graphene Nanoelectronics: Metrology, Synthesis, Properties and Applications*, Berlin: Springer, 2012. Disponibil online: <https://zlib.pub/book/graphene-nanoelectronics-metrology-synthesis-properties-and-applications-tbm29vfq4780>.
15. S. Z. Butler, et al., "Progress, Challenges, and Opportunities in Two-Dimensional Materials Beyond Graphene," *ACS Nano*, vol. 7, no. 4, pp. 2898–2926, 2013, doi: 10.1021/nn400280c. Disponibil online: <https://web.stanford.edu/group/heinz/publications/Pub202.pdf>.
16. H. Zhang, *Ultrathin Two-Dimensional Nanomaterials: Fabrication, Properties, and Applications*, Berlin: Springer, 2019. Disponibil online: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acsnano.5b05040>.
17. G. R. Bhimanapati, et al., "Recent Advances in Two-Dimensional Materials beyond Graphene," *ACS Nano*, vol. 9, no. 12, pp. 11509–11539, 2015, doi: 10.1021/acsnano.5b05556. Disponibil online: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26544756/>.
18. J. R. Schaibley, et al., "Valleytronics in 2D materials," *Nature Rev. Mater.*, vol. 1, no. 11, p. 16055, 2016, doi: 10.1038/natrevmats.2016.55. Disponibil online: <https://tesble.com/10.1038/natrevmats.2016.55>.
19. A. K. Geim and K. S. Novoselov, "The rise of graphene," *Nature Mater.*, vol. 6, no. 3, pp. 183–191, Mar. 2007, doi: 10.1038/nmat1849. Disponibil online: <https://arxiv.org/abs/cond-mat/0702595>.

PROPRIETĂȚILE SENZORIALE A HETEROSTRUCTURILOR DE ZnO/TiO₂:Pd ÎN SPECTRUL ULTRAVIOLET

Maxim CHIRIAC*

Centrul de Nanotehnologii și Nanosenzori, Departamentul Microelectronică și Inginerie Biomedicală, Facultatea Calculatoare Informatică și Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

*Autorul corespondent: Maxim Chiriac, maxim.chiriac1@mib.utm.md

Îndrumătorul științific **Nicolai ABABII**, doctor, conferențiar universitar, Centrul de Nanotehnologii și Nanosenzori, Departamentul Microelectronică și Inginerie Biomedicală, Facultatea Calculatoare Informatică și Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

Rezumat. Razele ultraviolete dețin o importanță majoră în diferite industrii cu o varietate de aplicații multifuncționale. Printre efectele pozitive ale acestei radiații se numără așa domenii ca agricultura, realizarea circuitelor integrate, medicină și pasteurizarea alimentelor prin metode nontermale. Efectele negative se exprimă de la arsuri până la cancerul pielii, din acest motiv contează timpul de expunere a organismului uman asupra acestor raze. Lucrarea prezintă partea experimentală de obținere a heterostructurilor de ZnO/TiO₂, ulterior funcționalizat cu nanopuncte din paladiu (Pd) prin metoda ALD. Rezultate obținute din analiza proprietăților senzoriale ale nanostructurilor respective sunt demonstrate prin testarea acestora la diferite lungimi de undă în spectrul ultraviolet în intervalul între 280 și 433 nm cu utilizarea aceiași intensități a luminii aplicate. Este descrisă formula de calcul a răspunsului nanostructurilor, calcularea și analizarea timpilor de răspuns și recuperare la lungimea de undă cu cel mai mare răspuns exprimat în procente.

Cuvinte cheie: oxid semiconductor, heterostructură, senzor, selectivitate.

Introducere

Lumina ultravioletă (UV) este o radiație cu o lungime de undă scurtă, cu un impact important în viața de zi cu zi. Aceasta este utilizată în diverse domenii, precum industria de creare a circuitelor integrate [1,2], industria de pasteurizare a alimentelor [3], medicina [4,5] și agricultură [6,7]. Spre exemplu metoda de utilizare a UV este una esențială în crearea circuitelor integrate, care la moment la producerea în serie permit noduri de 7 nm înlocuind-o pe cea de 13 nm [1]. Utilizarea EUV (Extreme ultraviolet lithography – Litografia ultravioletă extremă) ce are un interval între 5–300 Å poate permite trecerea acestui barierei și utilizarea nodurilor de mai puțin de 7 nm [8]. Unul dintre principiile utilizării radiației din spectrul UV este înlocuirea tehnologiilor de comunicații fără fir utilizate în prezent [2]. Printre metodele non-termice de prelucrare a alimentelor există și tehnica utilizării luminii ultraviolete. Această metodă poate influența pozitiv în caracteristicile de calitate a acestora care dispar în momentul utilizării metodelor tradiționale termice [3]. În medicină ultravioletul este utilizat în scopuri de întărire a diferitor polimeri utilizați spre exemplu în medicină dentară, precum și stimularea adsorbției proteinelor [4]. De asemenea, iradierea UV-C prezintă un potențial semnificativ în promovarea contactului între os și implant, precum și în stimularea creșterii osoase în faza de vindecare timpurie [5]. Trebuie de menționat faptul că lumina ultravioletă de mare energie, poate fi folosită pentru a stimula biosinteza compușilor bioactivi din plante [6]. Deasemenea iradierea legumelor cu LED-uri UV-A ar facilita calitatea acestora, ce poate fi utilizat pe larg consum în fabricile de producere fără a schimba ceva în procesul de creștere a acestora [7]. Cu toate acestea expunerea excesivă asupra acestor lungimi de undă pot avea averse negative asupra omului, începând de la arsuri până cancerul stratului cutanat [9].

Nanostructurile discutate în lucrare reprezintă heterostructuri compuse din oxid de zinc și titan, fabricate printr-o metodă sitezei chimice din soluții cu cost redus (SCS) și ALD. Această metodă permite obținerea unor structuri de înaltă calitate, utilizând materiale accesibile și un proces relativ simplu, făcându-le atractive pentru aplicații industriale. După realizarea inițială a heterostructurilor, acestea sunt supuse unui tratament termic controlat, care ajută la îmbunătățirea proprietăților structurale și funcționale ale materialului. În plus, pentru a spori performanțele acestora în aplicații specifice, nanostructurile sunt ulterior funcționalizate cu nanopuncte din paladiu.

Partea experimentală

Heterostructurile de ZnO/TiO₂:Pd au fost obținute prin metoda cost eficientă a sintezei chimice din soluții pe un substrat din sticlă. Ulterior acestea au fost tratate termic rapid (RTA) la o temperatură de 125 °C, după care a fost depus un strat subțire de TiO₂ prin metoda ALD cu grosimea de 15 nm și urmate de o recoacere termică timp de 2 ore la temperatura de 625 °C.

Proprietățile sensoriale ale nanostructurilor obținute au fost cercetate cu ajutorul instalației personalizate de testare la diferite lungimi de undă în spectrul ultraviolet descrise în unul din articolele precedente [10,11], iar ca dispozitiv de măsurare a fost utilizat un Keitley 2400. Utilizând softul la fel personalizat, datele sunt stocate, prelucrate și analizate. Astfel, calculul răspunsului la ultraviolet în procente se efectuează conform următoarei relații [11]:

$$S = \frac{G_{UV} - G_{Dark}}{G_{Dark}} \times 100 \%$$

unde:

G_{UV} – răspunsul nanostructurilor la aplicarea luminii ultraviolete;

G_{Dark} – răspunsul nanostructurilor în întuneric.

Rezultate și discuții

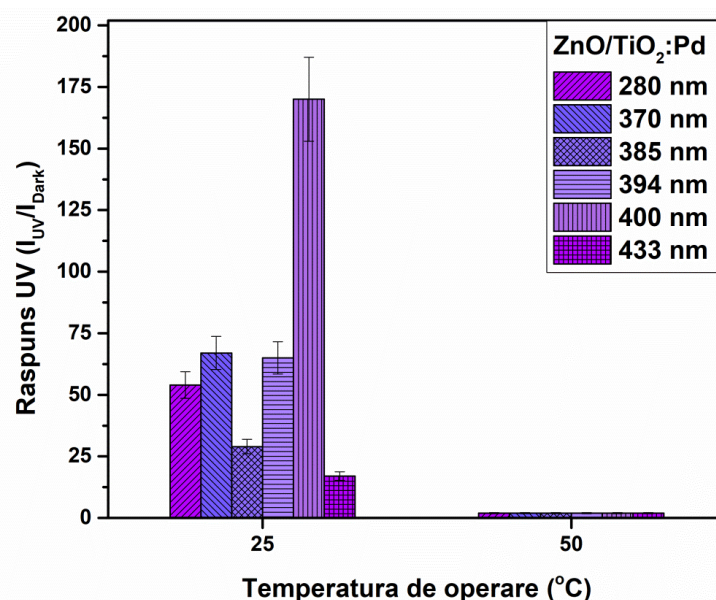


Figura 1. Răspunsul la UV a heterostructurilor din ZnO/TiO₂:Pd la diferite lungimi de undă.

În figura 1 este reprezentat răspunsul heterostructurilor de ZnO/TiO₂:Pd la temperaturile de operare 25 și 50 °C cu o intensitate a puterii luminii radiante de 1.41 mW la o tensiune de 1 V. Intensitatea respectivă a fost selectată în baza intensității celei mai mici a diodei cu lungimea de undă de 280 nm, pentru a testa heterostructurile în condiții egale. Astfel, la temperatura de

operare 25 °C se observă un răspuns de ~170 % la lungimea de undă 400 nm, un răspuns de ~2.5 ori mai mare comparativ cu răspunsurile obținute la celelalte lungimi de undă. La temperatura de operare 50 °C heterostructurile obținute nu au răspuns.

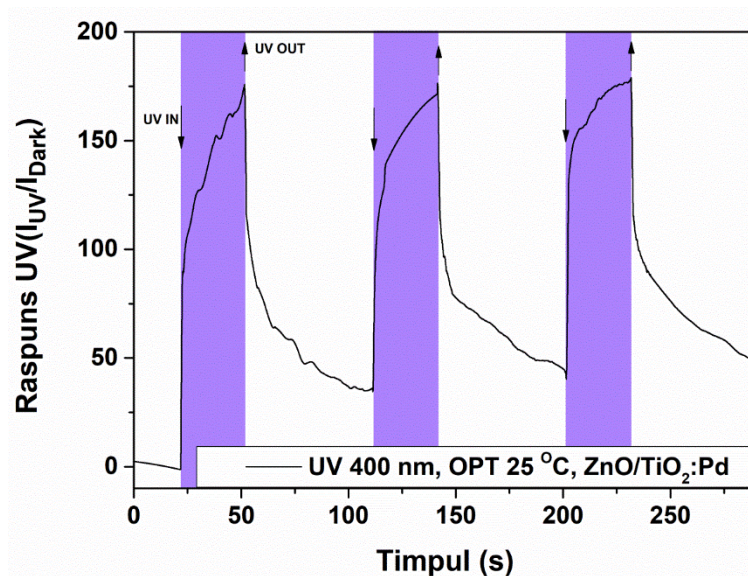


Figura 2. Răspunsul dinamic al heterostructurilor din ZnO/TiO₂:Pd la radiația ultravioletă de 400 nm.

În figura 2 este reprezentat răspunsul dinamic al heterostructurilor din ZnO/TiO₂:Pd la aplicarea radiației ultraviolete cu lungimea de undă de 400 nm. Heterostructurile au fost măsurate la temperatura de operare de 25 °C, deoarece la ridicarea temperaturii de operare, acestea nu prezintă un răspuns. Din răspunsul dinamic au fost determinați timpii de răspuns și recuperare. Timpul de răspuns reprezintă durata necesară pentru ca valoarea S să crească de la 10% la 90% din valoarea sa maximală, iar timpul de recuperare reprezintă intervalul necesar pentru ca valoarea S să scadă de la 90% la 10% din valoarea sa maximală. Astfel, timpul de răspuns determinat este de ~21 secunde și timpul de recuperare >60 secunde.

Concluzii

Radiația ultravioletă are un impact major atât în industrie cât și în viața de zi cu zi. Aceasta are efecte pozitive ce sunt pe larg utilizate în domenii precum circuite integrate, medicină și agricultură. Efectele pozitive se exprimă prin scalabilitatea tehnologiilor, stimularea creșterii plantelor, activează biosinteza compușilor bioactivi și tratarea alimentelor pentru siguranță microbiologică. Cu toate acestea, efectele pot fi și negative în dependență de timpul de utilizare a acestora. Pentru a minimiza riscurile este strict necesar de monitorizat și gestionat corect timpul expunerii la aceste radiații.

Această lucrare prezintă rezultate experimentale obținute din analiza proprietăților optice senzoriale ale heterostructurilor din ZnO/TiO₂, funcționalizate cu nanopuncte din paladiu (Pd), obținând un răspuns de ~170 % la lungimea de undă a radiației ultraviolete de 400 nm la temperatura camerei, care reprezintă un răspuns de ~2,5 ori mai mare în raport alte lungimi de undă.

Mulțumiri.

Chiriac Maxim este recunoscător Departamentului de Microelectronică și Inginerie Biomedicală din cadrul Facultății de Calculatoare, Informatică și Microelectronică a Universității Tehnice a Moldovei pentru experiența dobândită în timpul studiilor. În mod special, își exprimă gratitudinea față de profesorul universitar, doctor habilitat, Oleg Lupan, pentru îndrumarea și

sprijinul oferit. Această cercetare a fost susținută de Agenția Națională pentru Cercetare și Dezvoltare prin proiectul „Detectori de hidrogen și optici de bandă largă pe bază de nanoxizi semiconductori” Nr. 24.80012.5007.15TC la Universitatea Tehnică a Moldovei.

Referințe

1. WaNG, X.; TAO, P.; WANG, Q.; ZHAO, R.; LIU, T.; HU, Y.; HU, Z.; WANG, Y.; WANG, J.; TANG, Y.; et al. Trends in Photoresist Materials for Extreme Ultraviolet Lithography: A Review. *Mater. Today* 2023, 67, 299–319, doi:10.1016/j.mattod.2023.05.027.
2. CHIRIAC, M.; LITRA, D.; ABABII, N.; SANDU, I.; SEREACOV, A.; RAILEAN, S. Semiconducting Oxide Nanostructures for Wideband Optical Detectors. *13th Int. Conf. Electron. Commun. Comput.* 2024, 82–83.
3. CHIOZZI, V.; AGRIOPOULOU, S.; VARZAKAS, T. Advances, Applications, and Comparison of Thermal (Pasteurization, Sterilization, and Aseptic Packaging) against Non-Thermal (Ultrasounds, UV Radiation, Ozonation, High Hydrostatic Pressure) Technologies in Food Processing. *Appl. Sci.* 2022, 12, 2202, doi:10.3390/app12042202.
4. AL QAHTANI, M.S.A.; WU, Y.; SPINTZYK, S.; KRIEG, P.; KILLINGER, A.; SCHWEIZER, E.; STEPHAN, I.; SCHEIDELER, L.; GEIS-GERSTORFER, J.; RUPP, F. UV-A and UV-C Light Induced Hydrophilization of Dental Implants. *Dent. Mater.* 2015, 31, e157–e167, doi:10.1016/j.dental.2015.04.011.
5. JOSHI, M.U.; KULKARNI, S.P.; CHOPPADANDI, M.; KEERTHANA, M.; KAPUSETTI, G. Current State of Art Smart Coatings for Orthopedic Implants: A Comprehensive Review. *Smart Mater. Med.* 2023, 4, 661–679, doi:10.1016/j.smaim.2023.06.005.
6. JU, J.-H.; YOON, Y.-H.; SHIN, S.-H.; JU, S.-Y.; YEUM, K.-J. Recent Trends in Urban Agriculture to Improve Bioactive Content of Plant Foods. *Horticulturae* 2022, 8, 767, doi:10.3390/horticulturae8090767.
7. JEON, Y.-M.; SON, K.-H.; KIM, S.-M.; OH, M.-M. Growth of Dropwort Plants and Their Accumulation of Bioactive Compounds after Exposure to UV Lamp or LED Irradiation. *Hortic. Environ. Biotechnol.* 2018, 59, 659–670.
8. OISHI, T.; ASHIKAWA, N.; NESPOLI, F.; MASUZAKI, S.; SHOJI, M.; GILSON, E.P.; LUNSFORD, R.; MORITA, S.; GOTO, M.; KAWAMOTO, Y.; et al. Line Identification of Boron and Nitrogen Emissions in Extreme- and Vacuum-Ultraviolet Wavelength Ranges in the Impurity Powder Dropping Experiments of the Large Helical Device and Its Application to Spectroscopic Diagnostics. *Plasma Sci. Technol.* 2021, 23, 084002, doi:10.1088/2058-6272/abfd88.
9. FERRARA, F.; PAMBIANCHI, E.; WOODBY, B.; MESSANO, N.; THERRIEN, J.-P.; PECORELLI, A.; CANELLA, R.; VALACCHI, G. Evaluating the Effect of Ozone in UV Induced Skin Damage. *Toxicol. Lett.* 2021, 338, 40–50, doi:10.1016/j.toxlet.2020.11.023.
10. NAGPAL, R.; CHIRIAC, M.; SEREACOV, A.; BIRNAZ, A.; ABABII, N.; LUPAN, C.; BUZDUGAN, A.; SANDU, I.; SIEBERT, L.; PAUPORTÉ, T.; et al. ANNEALING EFFECT ON UV DETECTION PROPERTIES OF ZnO:Al STRUCTURES. *J. Eng. Sci.* 2024, 30, 45–62, doi:10.52326/jes.utm.2023.30(4).04.
11. NAZPAL, R.; CHIRIAC, M.; SUGIHARA, M.; LITRA, D.; ABABII, N.; MAGARIU, N.; LUPAN, C.; ZINICOVSCHI, V.; AMELOOT, R.; LUPAN, O. Sensory Properties of CuO/Cu₂O Nanostructures Coated with Zeolitic Imidazolate Frameworks. In *Proceedings of the 2024 E-Health and Bioengineering Conference (EHB); IEEE, November 14 2024; pp. 1–4.*

DEZVOLTAREA CAMEREI PENTRU SISTEMUL DE MĂSURARE ȘI CERCETARE A SENZORILOR

Alexandr CHIRIAC^{1*}, Maxim CHIRIAC²

¹Departamentul Microelectronică și nanotehnologii, EA-231, Facultatea Calculatoare Informatică și Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Moldova

²Centrul de Nanotehnologie și Nanosenzori, Departamentul de Microelectronică și Inginerie Biomedicală, Universitatea Tehnică din Moldova, str. Ștefan cel Mare 168, MD-2004 Chișinău, Republica Moldova,

*Autorul corespondent: Alexandr Chiriac, alexandr.chiriac@mib.utm.md

Coordonator: **Nicolai ABABII**, doctor, conferențiar universitar, Centrul de Nanotehnologii și Nanosenzori, Departamentul Microelectronică și Inginerie Biomedicală, Facultatea Calculatoare Informatică și Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

Rezumat. În lucrare se descrie evoluția în timp a industriei senzorilor, varietatea și importanța acestora în viața de zi cu zi. Integrarea senzorilor în dispozitive permite elaborarea sistemelor de control și monitorizare continuă a parametrilor acestora. Datorită faptului că industria și activitățile casnice pot influența negativ sănătatea oamenilor în momentul expunerii corpului uman la substanțe toxice este vital cercetarea structurilor ce răspund la acest tip de nocivi. Pentru a automatiza procesul de cercetare și de a securiza cercetătorii în timpul acestor experimente a fost proiectată camera 3D care are ca scop îmbunătățirea procesului de măsurare a senzorilor și minimizarea pericolelor de expunere la diferite gaze toxice. Camera respectivă permite simularea diferitor condiții ce pot fi întâlnite în viața de zi cu zi, cu scopul testării răspunsului acestor senzori în diferite medii. Sistemul descris în lucrare explică modul de testare a senzorilor în condiții de laborator. Camera 3D poate fi supusă la necesitate altor modificări în termeni reduși pentru a extinde capacitatea testelor efectuate precum și numărul de structuri senzor utilizate la testate, ajungând să joace un rol fundamental în progresul tehnologic al senzorilor de nouă generație.

Cuvinte cheie: senzori, gaz, cameră 3D, sistem

Introducere

În viața contemporană senzorii devin o parte semnificativă care ridică gradul de securitatea vitală de zi cu zi cu monitorizare în timp. Încă din secolul al XIX-lea, detectarea gazelor a evoluat de-a lungul anilor, având ca principal scop asigurarea siguranței muncitorilor din minele de cărbune. De la primele metode simple, precum detectorul de metan cu torță, s-a ajuns treptat la sisteme moderne de detectare a gazelor [1]. De-a lungul timpului, detectorii de gaz au evoluat semnificativ, ajungând în prezent să includă o gamă variată de senzori cu parametri diferiți și dublă destinați [2,3]. Printre tehnologiile utilizate [4,5] se enumeră senzorii pe bază de semiconductori, electrochimici și optici. În ultimii ani, senzorii de gaz sunt tot mai des utilizați pe scară largă, pentru că sunt ieftini în producere cu proprietăți senzoriale ridicate, printre cei mai comuni fiind senzorii MOS (Metal Oxide Semiconductor), electrochimici, catalitici și infraroșii [6]. Acestea sunt alcătuite din elemente sensibile precum oxizi de metal semiconductor, pelicule catalitice, polimeri conductivi, materiale electrochimice, etc. [7]. Senzorii reprezintă structuri care răspund fiind influențate de mediul înconjurător, iar integrate în dispozitive, acestea au capacitatea de a detecta, monitoriza și măsura parametrii obținuți, care ulterior sunt prelucrate și afișate utilizatorului final. Senzorii pot fi utilizați pentru detectarea mișcării, temperaturii, umidității, gazelor și altor parametri [2,3,8–10]. Printre avantajele lor se numără automatizarea, precizia, monitorizarea eficientă, economia de energie și siguranța sporită [11]. Totuși, utilizarea senzorilor prezintă și unele dezavantaje, precum sensibilitatea la condițiile

de mediu, necesitatea calibrării periodice și consumul de energie. La fel, mediul în care sunt expuși sensorii poate fi dăunător pentru oameni, însă procesul de testare a efectivității acestora este un lucru obligator și de mare importanță. Pentru minimizarea riscurilor de influență asupra cercetătorilor în momentul testării acestora a fost proiectată și elaborată o camera de testare a senzorilor.

În lucrare se descrie proiectarea și elaborarea prototipului unei camere funcționale utilizând tehnologia 3D de imprimare pentru testarea senzorilor care va permite măsurarea parametrilor în diverse condiții, fără a reprezenta un risc pentru cercetător. Din punct de vedere financiar, camera respectivă este destinată testării senzorilor are un buget eficient din punct de vedere al costurilor, aspect esențial în acest proces. Testările realizate vor furniza date esențiale, utile cercetătorilor în efectuarea experimentelor și obținerea unor informații noi.

Partea experimentală

În figura 1 este reprezentată schema conceptuală care descrie funcționalitatea camerei și sistemul în care va fi integrat. Acest sistem prevede trei componente de bază:

- Camera;
- Unitatea de control;
- Calculatorul și aplicațiile necesare.

Din figura 1 se observă că în interiorul camerei există o lumină ultravioletă alimentată de la o sursă (1) și un set de senzori industriali de comparare (2) a valorii acestora cu senzorii cercetați. Achiziția parametrilor electrici are loc cu ajutorul unui source-metru de înaltă precizie de model Keitley (3). La fel, datorită faptului că condițiile mediului pot varia în dependență de locația utilizării, în cameră se creează diferite temperaturi de operare (4) pentru a cerceta comportamentul sensorului, precum și influența razelor ultraviolete cu un interval de lungimi de undă între 250 nm și 450 nm. Introducerea concentrației de gaz țintă în camera elaborată se dirijează cu ajutorul unui MFC (Mass Flow Controller – Controler de debit de masa) (5) pentru a infiltra în cantități controlate a gazului supus testării. În urma procesului de testare, sistemul prevede evacuarea acestui amestec de gaz prin conectarea unei pompe de vid (7) care ulterior este evacuat din cameră și filtrat (8). Toate operațiile respective se controlează de la un calculator în care este instalat aplicația personalizată, care are posibilitatea de a efectua operații ca citirea parametrilor senzorilor industriali, conectarea și deconectarea luminii ultraviolet, preluarea informații furnizare de source-metru, introducerea și evacuarea mixului de gaze.

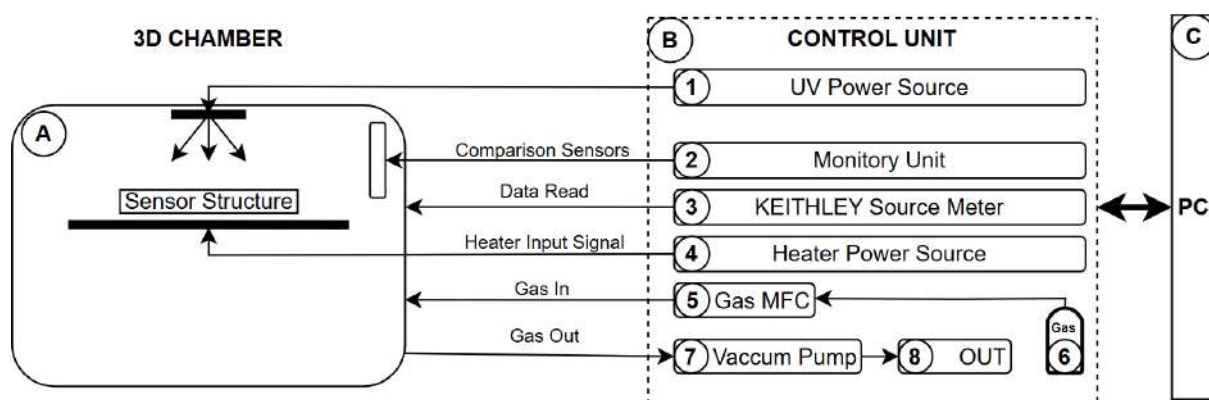


Figura 1. Schema conceptuală a camerei elaborate

Un avantaj major al acestei metode de control a camerei este capacitatea de a transmite rapid informațiile de la senzori prin intermediul unei cutii de control, care procesează datele și le trimite direct către calculator. Acestea sunt afișate atât sub formă de valori numerice, cât și sub formă de grafice, permițând monitorizarea în timp real a deviațiilor parametrilor din instalație pe parcursul experimentului. Astfel, datele pot fi procesate la un nivel avansat, oferind cercetătorilor

informații mai precise pentru experimentele desfășurate pe dispozitiv și la necesitate este posibil scalabilitatea acestei configurații de la un sensor la mai multe per experiment.

În fig. 2 este reprezentat modelul 3D al prototipului camerei de sensori proiectată în Autodesk Fusion 360 versiunea student cu utilizarea parametrilor de imprimare descris anterior [12]. Prototipul are o dimensiune externă de 200 x 200 mm și dimensiunea internă fiind de 170 x 195 mm. Camera este dotată cu patru orificii cu un diametru de 20 mm pentru conectarea a patru supape prin intermediul cărora va avea loc procesul de introducere a mixului de gaze și evacuarea acestuia. De asemenea camera este dotată cu trei orificii cu un diametru de 12 mm utilizate pentru conectori de tip Aviator prin intermediul cărora va fi realizat fluxul de date dintre senzori și dispozitivele conectate pentru măsurare.

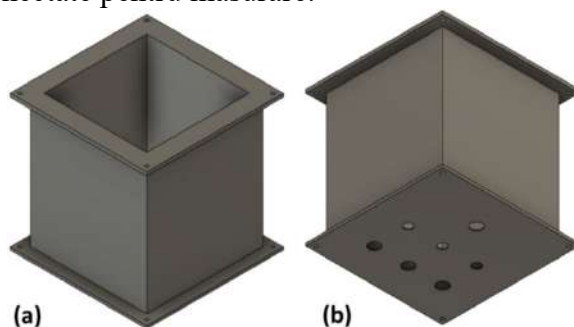


Figura 2. Modelul 3D a camerei pentru testarea senzorilor:
(a) – vederea de sus; (b) – vederea de jos.

În fig. 3 este reprezentat modelul 3D al capacului, conceput pentru a permite utilizatorilor să schimbe cu ușurință proba sau probele utilizate în cadrul experimentului, facilitând astfel efectuarea măsurărilor necesare. Acest capac joacă un rol important în procesul experimental, asigurând atât accesibilitatea, cât și stabilitatea probelor pe durata testărilor. De asemenea, capacul este prevăzut cu un orificiu special destinat conectorului, similar prototipului ilustrat în fig. 2, asigurând compatibilitatea și integrarea optimă în sistemul de cercetare, iar fixarea de cameră se realizează cu patru șuruburi cu blocare rapidă, ce permite deschiderea și închiderea acestuia în timp redus. Această caracteristică permite conectarea rapidă și eficientă a echipamentelor necesare pentru obținerea unor date precise și relevante în cadrul investigațiilor experimentale.



Figura 3. Modelul 3D a capacului

Concluzii

În concluzie, senzorii joacă un rol esențial atât în domeniul industrial, cât și în cel casnic, contribuind semnificativ la siguranța oamenilor zi de zi. Cercetarea și dezvoltarea acestora trebuie să continue, având în vedere impactul lor asupra automatizării, eficienței și protecției mediului.

Camera pentru testarea senzorilor reprezintă un instrument de mare importanță în acest proces, facilitând experimentele și asigurând un mediu sigur pentru cercetători. Prin integrarea acestei camere în sistem, se pot obține date precise și relevante, contribuind la îmbunătățirea performanței senzorilor și la dezvoltarea unor noi tehnologii adaptate cerințelor actuale, fără a supune efectelor negative cercetătorii implicați în realizarea, testarea, valorificarea răspunsurilor acestora.

Un alt avantaj al acestui dispozitiv este costul redus și design-ul său simplu, care permite modificări și extinderi ușoare în funcție de necesitățile viitoare. Astfel, sistemul a cărui componentă este camera descrisă în această articol poate evolua odată cu cerințele tehnologiei și ale cercetătorilor, devenind un element important în dezvoltarea senzorilor de nouă generație.

Mulțumiri. Chiriac Alexandr își exprimă recunoștința față de Departamentul de Microelectronică și Inginerie Biomedicală din cadrul Facultății de Calculatoare, Informatică și Microelectronică a Universității Tehnice a Moldovei pentru experiența valoroasă acumulată în timpul studiilor de licență. Această cercetare a fost susținută de Agenția Națională pentru Cercetare și Dezvoltare prin proiectul „Detectors de hidrogen și optici de bandă largă pe bază de nanoxizi semiconductori” Nr. 24.80012.5007.15TC la Universitatea Tehnică a Moldovei.

Referințe

1. FuŚNIK, Ł.; SZAFRANIAK, B.; PALECZEK, A.; GROCHALA, D.; RYDOSZ, A. A Review of Gas Measurement Set-Ups. *Sensors* 2022, 22, 2557, doi:10.3390/s22072557.
2. CHIRIAC, M.; LITRA, D.; LUPAN, C.; LUPAN, O. PROPANOL DETECTION DEVICE FOR THE PURPOSE OF MONITORING THE QUALITY OF THE ENVIRONMENT. *J. Eng. Sci.* 2024, 31, 66–74, doi:10.52326/jes.utm.2024.31(1).06.
3. NAZPAL, R.; CHIRIAC, M.; SUGIHARA, M.; LITRA, D.; ABABII, N.; MAGARIU, N.; LUPAN, C.; ZINICOVSCHI, V.; AMELOOT, R.; LUPAN, O. Sensory Properties of CuO/Cu₂O Nanostructures Coated with Zeolitic Imidazolate Frameworks. In *Proceedings of the 2024 E-Health and Bioengineering Conference (EHB); IEEE, November 14 2024; pp. 1–4.*
4. BUTT, M.A. Integrated Optics: Platforms and Fabrication Methods. *Encyclopedia* 2023, 3, 824–838, doi:10.3390/encyclopedia3030059.
5. ZHOU, C.; SHI, N.; JIANG, X.; CHEN, M.; JIANG, J.; ZHENG, Y.; WU, W.; CUI, D.; HAICK, H.; TANG, N. Techniques for Wearable Gas Sensors Fabrication. *Sensors Actuators B Chem.* 2022, 353, 131133, doi:10.1016/j.snb.2021.131133.
6. GAUTAM, Y.K.; SHARMA, K.; TYAGI, S.; AMBEDKAR, A.K.; CHAUDHARY, M.; PAL SINGH, B. Nanostructured Metal Oxide Semiconductor-Based Sensors for Greenhouse Gas Detection: Progress and Challenges. *R. Soc. Open Sci.* 2021, 8, rsos.201324, doi:10.1098/rsos.201324.
7. SHI, J.; JIANG, Y.; DUAN, Z.; LI, J.; YUAN, Z.; TAI, H. Designing an Optical Gas Chamber with Stepped Structure for Non-Dispersive Infrared Methane Gas Sensor. *Sensors Actuators A Phys.* 2024, 367, 115052, doi:10.1016/j.sna.2024.115052.
8. NIU, G.; ZHUANG, Y.; HU, Y.; LIU, Z.; WU, B.; WANG, F. Selective Discrimination of VOCs Gases at Ppb-Level Using MOS Gas Sensor in Temperature-Pulsed Operation Mode with Modified Hill Equation. *Surfaces and Interfaces* 2024, 44, 103761, doi:10.1016/j.surfin.2023.103761.
9. ZHANG, C.; QIN, J.; YAN, C.; SHI, Y.; WANG, Y.; LI, M. Towards Invariant Extended Kalman Filter-Based Resilient Distributed State Estimation for Moving Robots over Mobile Sensor Networks under Deception Attacks. *Automatica* 2024, 159, 111408, doi:10.1016/j.automatica.2023.111408.
10. MANE, S.; DAS, N.; SINGH, G.; COSH, M.; DONG, Y. Advancements in Dielectric Soil Moisture Sensor Calibration: A Comprehensive Review of Methods and Techniques. *Comput. Electron. Agric.* 2024, 218, 108686, doi:10.1016/j.compag.2024.108686.
11. Control Engineering. Sfaturi privind selecția senzorilor. Control Engineering Disponibil online: <https://www.controleng.com/tips-on-sensor-selection/>
12. CHIRIAC, M. Sistem holografic de afișare a informației. In: Conferința tehnico-științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor, 5-7 aprilie 2023, Chișinău. Chișinău, Republica Moldova: „Tehnica-UTM”, 2023, Vol.1, pp. 303-306. ISBN 978-9975-45-828-3.. ISBN (pdf) 978-9975-45-957-0 (Vol. 1).

ELABORAREA NANOMEMBRANELOR DE GaN PENTRU APLICAȚII SENZORICE

Cătălin CECHIN*, Darius ȚURCAN,

Centrul Național de Studiu și Testare a Materialelor, Universitatea Tehnică a Moldovei,
Chișinău, Republica Moldova

Autorul corespondent: Cechin Cătălin, catalin.cechin@mib.utm.md

*Îndrumătorul/coordonatorul științific: dr. **Vladimir CIOBANU**, Centrul Național de Studiu și
Testare a Materialelor, cercetător științific coordonator

Rezumat. În această lucrare au fost elaborate nanomembrane din nitrură de galiu (GaN) prin metoda litografiei cu sarcină de suprafață, cu perspectiva de a fi utilizate în calitate de senzori de presiune. Au fost utilizate plachete de GaN de tip n dopate neintenționat, cu concentrația purtătorilor liberi de 10^{17} cm^{-3} . Procesul începe cu elaborarea design-ului măștilor fotolitografice care include masca pentru pad-uri și a rețelelor din membrane în configurația paralelă a 1 – 4 membrane. Pentru metalizarea pad-urilor s-au depus straturi de Ti/Au cu grosimi de 50/100 nm. Membranele ultrasubțiri din GaN, a căror grosime este de circa 15 nm, sunt obținute prin procedeul litografiei cu sarcină de suprafață, un procedeu dezvoltat anterior în cadrul Centrului Național de Studiu și Testare a Materialelor. Acest concept constă în faptul că regiuni specifice de pe suprafața plachetei, sunt expuse în plasmă cu ioni grei de Ar^+ , iar în urma corodării fotoelectrochimice a plachetelor în soluție de KOH, regiunile tratate în plasmă devin chimic stabile, mai exact doar un strat de circa 15 nm. Această metodă oferă control asupra geometriei și dimensiunilor membranelor, necesar pentru optimizarea performanței senzorilor de presiune la nivelul dispozitivului. Datorită proprietăților specifice a GaN, și a procesului simplu de obținere a membranelor ultrasubțiri, structurile date urmează a fi studiate în calitate de senzori de presiune până la 40 atm.

Cuvinte cheie: GaN, membrane ultra-subțiri, senzori de presiune, SCL, corodare fotoelectrochimică (PEC).

Introducere

Datorită proprietăților unice – bandă interzisă largă, stabilitate termică și chimică notabilă și mobilitate electronică mare, dar și proprietate piezoelectrică cu coeficient înalt [1,2], nitrura de galiu (GaN) a devenit un material foarte important în industria semiconductorilor. La moment, acesta al 2-lea cel mai utilizat semiconductor în industrie, după Si, în domenii precum electronica de putere [3] și de frecvențe înalte [4], optoelectronică [5], senzori [6], și altele.

O direcție promițătoare în cercetare o reprezintă materialele nanostructurate în baza GaN, în special nanomembranele cu grosimi de până la câteva zeci de nm, structuri cu grosimi care prezintă proprietăți distincte față de materialul masiv. Aceste tipuri de membrane au fost pentru prima dată obținute în cadrul Centrului Național de Studiu și Testare a Materialelor prin așa-numitul procedeu de Litografie cu Sarcină de Suprafață [7]. Procedeul dat presupune introducerea controlată a defectelor pe suprafața materialului inițial crescut prin tehnica Metal Organic Chemical Vapor Deposition (MOCVD) [8], formându-se regiuni cu sarcini negative încapsulate.

Recent, a fost demonstrat că materialul nanostructurat în baza GaN sub formă de microtetrapozi goi în interior, datorită proprietății piezorezistive și piezoelectrice, poate fi utilizat în calitate de senzor de presiune până la 40 atm [9], fiind dispensabil în aplicații precum auto, militar, în special pentru submarine. Microtetrapozii elaborați, având grosimea pereților de până

la 100 nm, pot fi de asemenea văzuți ca nanomembrane înfășurate, care, odată ce sunt supuși la o presiune hidrostatică sau mecanică, vor genera sarcini electrice ce pot fi detectate chiar și cu ajutorul echipamentelor de măsură portabile.

În cadrul acestei lucrări, au fost elaborate circuite din nanomembrane prin tehnologia SCL, metodă care asigură control precis asupra geometriei și dimensiunilor, cu conectarea în paralel a 1, 2, 3 sau 4 membrane, care ulterior urmează a fi studiate în calitate de senzori de presiune până la 40 atm [10], studiindu-se de asemenea dependența semnalului electric în dependență de configurația membranelor, și va fi elaborat un model teoretic ce ar descrie procesele dinamice în material odată cu modificarea presiunii.

Materiale si metode

Pentru producerea membranelor de GaN cu grosimi ultrasubțiri, au fost utilizate plachete de GaN crescute pe substrat de safir ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$). Stratul epitaxial de GaN de tip n, dopat neintenționat, a avut o grosime de aproximativ 3 μm și o concentrație a purtătorilor de sarcină de $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$. Aceste straturi de GaN au fost obținute prin metoda Metalorganic Chemical Vapor Deposition (MOCVD), pe substraturi de safir cu plan $c(0001)$. Dislocațiile în material joacă un rol semnificativ în procesul de corodare ulterior, influențând morfologia finală a membranelor. Proprietățile inițiale ale stratului de GaN, inclusiv densitatea dislocațiilor, sunt cruciale pentru rezultatul corodării PEC, deoarece dislocațiile sunt rezistente în acest proces și definesc arhitectura finală a nanomembranelor.

1. Designul măștilor fotolitografice

Pentru crearea măștilor a fost utilizat softul KLayout. Au fost elaborate măștile ce permit obținerea nanomembranelor atât utilizând fotorezist (FR) pozitiv cât și negativ. Dimensiunile pad-urilor au fost 300x300 μm , iar pentru membrane au fost făcute măști cu rețele de fâșii ce prezintă ferestre cu dimensiunile de 20x120 μm conform imaginii din figura 1.

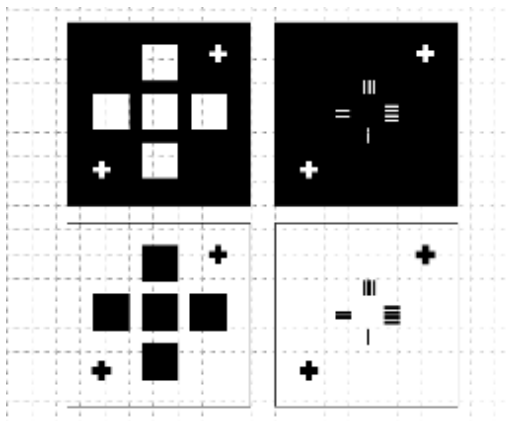


Figura 1. Măștile fotolitografice elaborate în softul KLayout pentru contactele electrice și regiunile ce vor prezenta membrane

2. Procesul de fotolitografie

Primul proces fotolitografic a vizat crearea pad-urilor ce prezintă contactele electrice. Pe suprafața plachetei a fost depus FR negativ (ma-N 415) prin centrifugare la 4000 rotații/minut, timp de 45 secunde. Procesul a fost urmat de uscarea FR la temperatura de 100 °C timp de 1 minut [11]. Exponarea FR s-a făcut timp de 80 secunde utilizând instalația SUSS MJB3 Mask Aligner. Ulterior, FR a fost îndepărtat cu un developantul ma-D 331/S timp de 3 minute. Pentru metalizarea pad-urilor au fost depuse straturi de Ti/Au cu grosimile de 20/100 nm în magnetron.

A doua etapă a procesului de fotolitografie este pentru crearea regiunilor unde se vor forma membranele în urma procesului de corodare PEC [12].

3. Tratamentul în plasmă de Ar^+

După etapa de fotolitografie (figura 2a-e), probele pregătite au fost supuse unui tratament în plasmă de Ar^+ , utilizând un sistem AURION Cylos 160 RIE. Prin ferestrele create în stratul de fotorezist, ionii de Ar^+ bombardează regiunile neprotejate de FR a GaN, introducând astfel defecte controlate pe suprafața materialului sub formă de sarcini negative (figura 2f). Aceste sarcini de suprafață induse vor acționa ulterior ca un scut protector în timpul corodării PEC.

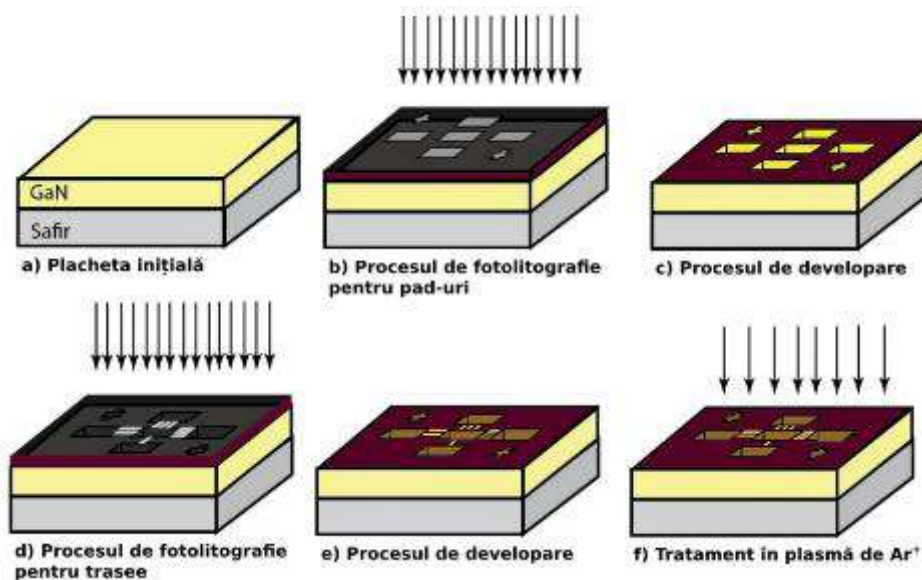


Figura 2. Procesul fotolitografic pentru elaborarea contactelor ohmice cu substratul de GaN (a-c), și deschiderea ferestrelor (d, e) pentru tratament în plasma (f) a regiunilor unde se vor forma membrane după corodarea PEC

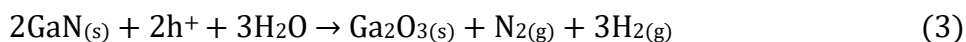
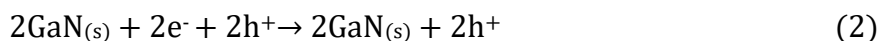
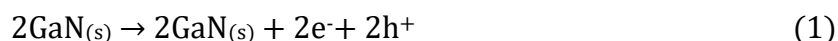
4. Corodarea fotoelectrochimică

Placheta de GaN a fost fixată cu ajutorul pastei de argint pe un electrod și imersată împreună cu un contraelectrod de platină, într-un circuit electric închis, într-o soluție de KOH de 0.1 M. Soluția de KOH a fost agitată continuu pe tot parcursul procesului la 50 de rotații pe minut.

Rezultate și discuții

În figurile 3 și 4 sunt prezentate imagini SEM ale structurilor cu nanomembrane din GaN în urma decapării PEC în soluție de 0.1 M KOH. În decursul acestui proces, suprafața materialului este iradiată cu lumină UV de la o lampă cu vapori de mercur de 350W, suprafața iradiată fiind de circa 10 mm^2 . Dizolvarea materialului are loc inițial în regiunile care nu au fost expuse în plasma cu Ar^+ , până la safir, iar ulterior începe și corodarea selectivă sub regiunile expuse în plasmă, orizontal, astfel în final obținându-se nanomembrane suspendate pe nanofirele din GaN, prezente ca urmare a dislocațiilor în rețeaua cristalină a materialului. Dizolvarea laterală pe sub membrane este datorată și faptului că acestea au o grosime de numai circa 15 nm, ce permite pătrunderea luminii. Fotonii cu o energie de 3.5 eV interacționează cu suprafața GaN, furnizând suficientă energie pentru a transfera electroni din banda de valență în banda de conducție, ceea ce duce la generarea de goluri în banda de valență. Aceste goluri rămase pe suprafața plachetei încep să acționeze ca oxidanți. Ele, în combinație cu moleculele de apă, KOH și suprafața plachetei, încep să transforme GaN în oxid de galiu (Ga_2O_3). Acest proces duce, de asemenea, la emanarea gazului de azot (N_2) și hidrogen (H_2). Deoarece Ga_2O_3 este un oxid amorf, acesta se dizolvă rapid în baze, cum ar fi KOH. Astfel, se obține un ciclu în care lumina ultravioletă generează goluri care oxidează stratul de GaN în Ga_2O_3 , care, la rândul său, se

dizolvă în soluția alcalină de KOH. Procesul de oxidare și dizolvare a GaN poate fi descris conform următoarelor reacții chimice:



În regiunile iradiate de plasma de Ar^+ însă, odată cu iluminarea materialului în soluția alcalină de KOH, are loc generarea golurilor, care vor recombină prin intermediul defectelor ce vor face ca acestea să nu participe în procesul de corodare.

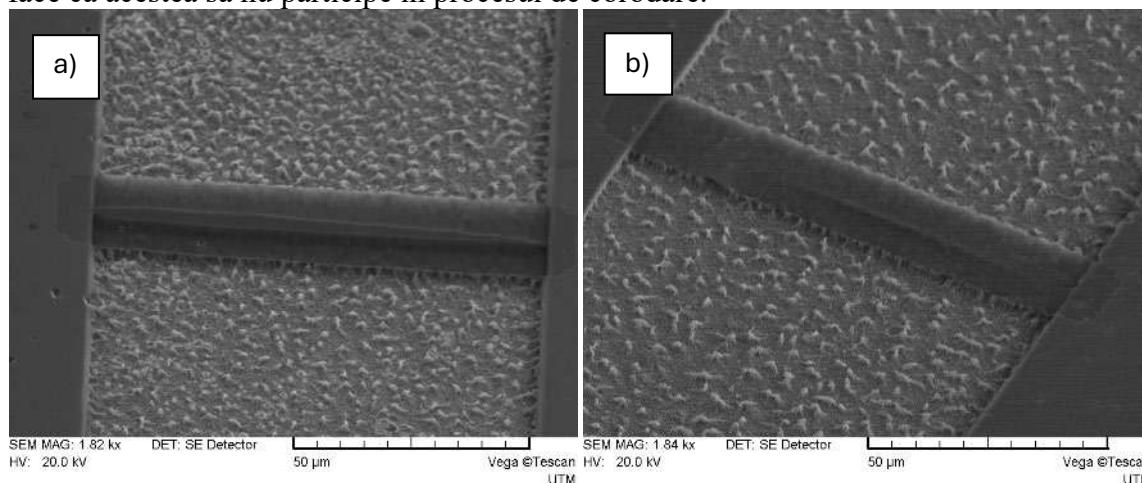


Figura 3. Imagini SEM după procesul de corodare PEC:
(a) timp de 20 minute, (b) timp de 40 minute

Procesul de corodare PEC a fost verificat la fiecare 20 de minute pentru a examina dinamica formării membranelor. În total, procesul a durat 40 de minute, ceea ce e considerat optim pentru obținerea membranelor subțiri, un timp mai îndelungat ducând la dizolvarea nanofirelor și eliberarea membranelor în soluție. Este necesar de menționat că un timp mai mare de corodare duce la corodarea mai rapidă a nanofirelor de GaN, iar ca urmare, membranele suspendate se pot rupe sau chiar desprinde de substrat.

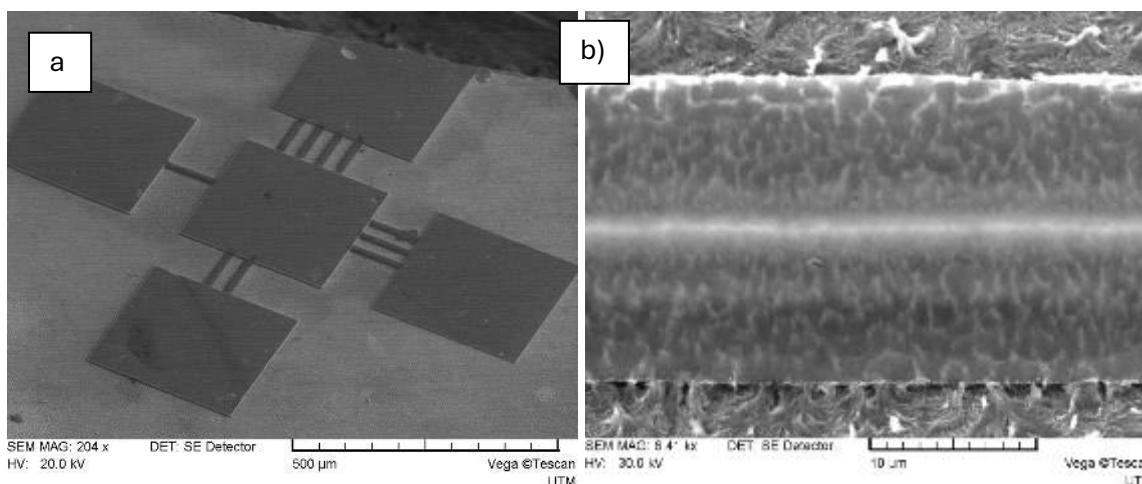


Figura 4. (a) Imagine SEM a circuitului format din membrane de GaN în configurație paralel, cu 1, 2, 3 și 4 membrane, și (b) imagine SEM de rezoluție înaltă ce ilustrează o membrană de GaN suspendată pe nanofire ce prezintă dislocații în placheta inițială

Imaginea SEM din Figura 4(a) ilustrează un circuit din 1, 2, 3 și 4 membrane de GaN obținut în urma procesului de corodare PEC. Aceste membrane sunt transparente în fluxul de electroni în microscopul SEM, având o grosime de doar 15 nm. Figura 4(b) oferă o imagine de rezoluție înaltă a unei singure membrane ce este suspendată pe nanofirele de GaN. Membrana extrem de subțire și cu proprietate piezoelectrică are un rol crucial în determinarea eficienței a presiunii, după cum a fost anterior demonstrat și în cazul grafenei [13].

Concluzii

Studiul a demonstrat o metodă facilă și eficientă pentru elaborarea circuitelor din membrane ultrasubțiri de GaN de numai circa 15 nm, utilizând litografia cu sarcină de suprafață. Procesul, care include fotolitografia, tratamentul în plasmă și corodarea PEC, a permite control precis asupra dimensiunilor membranelor. A fost de asemenea observat că datorită procesului de corodare lateral pe sub regiunile tratate în plasmă, cel mai eficient în timp este obținerea membranelor cu lățimea de până la 50 μm , fără ca acestea să își modifice forma planară, fiind suspendate pe nanofirele datorate defectelor în rețeaua cristalină a materialului. Circuitele din membrane de GaN obținute urmează a fi investigate în calitate de senzori de presiune până la 40 atm, cu posibile aplicații extinse în diverse domenii tehnologice.

Mulțumiri

Aceasta lucrare a fost susținută financiar parțial din proiectul Tineri Cercetători #24.80012.5007.12TC

Bibliografie

1. M.S. SHUR, A.D. BYKHOVSKI, R. GASKA, Pyroelectric and Piezoelectric Properties of Gan-Based Materials. MRS Proceedings (1998), Volume 537, pp. G1.6, <https://doi.org/DOI: 10.1557/PROC-537-G1.6>
2. N. NAKAMURA, H. OGI, M. HIRAO, Elastic, anelastic, and piezoelectric coefficients of GaN. Journal of Applied Physics (2012), Volume 111, pp. 13509, <https://doi.org/10.1063/1.3674271>
3. S.S. KUMAR, S.P. KOMBLE, P.S.R. KONDURI, R. KUMAR, T. SURULIVEL RAJAN, Y. KHAIRNAR, H. TARIGONDA, In Advanced Power Electronics for Efficient Integration of Renewable Energy into the Grid. E3S Web Conf. (2024), Volume 591, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202459105005>
4. M. KOSTYANTYN, KULIKOV VOLODYMYR OLEKSANDROVYCH, V. IVANOVICH TYMOFIEIEV, High-Frequency Properties of GaN, AlN and InN in Strong Fields. Microsystems and Physical Electronics (2019), Volume 24, pp. 20–32
5. Z. SUN, F. SHI, Z. SHI, H.W. CHOI, Y. LIU, Y. WANG, J. YAN, GaN Optoelectronic Integrated Chip with Multifunctions of Communication and Neuromorphic Computing. Advanced Optical Materials (2025), pp. 2403514, <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/adom.202403514>
6. G. KOROTCENKOV, V. POPA, I. TIGINEAUNU, V. BRINZARI, GaN-new material for gas sensor applications, In 3rd Int. Conf. Microelectron. Comput. Sci. ICMCS-02, 2017, pp. 2588–2593
7. M. DRAGOMAN, I. TIGINYANU, D. DRAGOMAN, A. DINESCU, T. BRANISTE, V. CIOBANU, Learning mechanisms in memristor networks based on GaN nanomembranes. Journal of Applied Physics (2018), Volume 124, pp. 152110, <https://doi.org/10.1063/1.5034765>
8. X. FANG, K. PAN, T. XIA, Q. CHEN, K. ZHANG, Q. HOU, Y. WU, H. LIU, J. SUN, Q. YAN, T. GUO, P-7.3: Numerical modeling of GaN growth by MOCVD on metal

- substrate. SID Symposium Digest of Technical Papers (2024), Volume 55, pp. 1059–1063, <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/sdtp.17276>
9. A. WANG, L. ZENG, W. WANG, Z. LUO, Static and dynamic simulation studies on the AlGaIn/GaN pressure sensor. Semiconductor Science and Technology (2019), Volume 34, pp. 115022, <https://doi.org/10.1088/1361-6641/ab478a>
 10. M. DRAGOMAN, V. CIOBANU, S. SHREE, D. DRAGOMAN, T. BRANISTE, S. RAEVSCHI, A. DINESCU, A. SARUA, Y.K. MISHRA, N. PUGNO, R. ADELUNG, I. TIGINYANU, Sensing up to 40 atm Using Pressure-Sensitive Aero-GaN. Physica Status Solidi (RRL) – Rapid Research Letters (2019), Volume 13, pp. 1900012, <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/pssr.201900012>
 11. O. VOLCIUC, T. BRANISTE, V. SERGENTU, V. URSAKI, I.M. TIGINYANU, J. GUTOWSKI, Fabrication of photonic crystal circuits based on GaN ultrathin membranes by maskless lithography, In Nanotechnol. VII, SPIE, I.M. Tiginyanu (Ed.), 2015: pp. 8–17, <https://doi.org/https://doi.org/10.1117/12.2178525>
 12. H. LIANG, Z. WEI, J. FANG, Y. LI, C. LI, Z. XIE, Y.H. NG, G. ZENG, Electrolyte Effect on Photoetching of Gallium Nitride. Nanomanufacturing and Metrology (2024), Volume 7, pp. 5, <https://doi.org/10.1007/s41871-024-00224-x>
 13. M. ŠIŠKINS, M. LEE, D. WEHENKEL, R. VAN RIJN, T.W. DE JONG, J.R. RENSHOF, B.C. HOPMAN, W.S.J.M. PETERS, D. DAVIDOVIKJ, H.S.J. VAN DER ZANT, P.G. STEENEKEN, Sensitive capacitive pressure sensors based on graphene membrane arrays. Microsystems & Nanoengineering (2020), Volume 6, pp. 102, <https://doi.org/10.1038/s41378-020-00212-3>

AUTOMATION OF THE RAPID PHOTONIC TREATMENT INSTALLATION

Nicolae RUSU^{1*}, Sergiu PASCARI¹, Maxim CHIRIAC²,

¹Department of Microelectronics and Biomedical Engineering, Group -MN241M, Faculty of Computers,
Informatics and Microelectronics, Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova

²Department of Microelectronics and Biomedical Engineering, Center for Nanotechnology and Nanosensors,
Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova

*Corresponding author: Nicolae Rusu, nicolae.rusul@mib.utm.md

Scientific coordinator: **Nicolai ABABII**, PhD, Associate Professor, Center for Nanotechnologies and Nanosensors, Department of Microelectronics and Biomedical Engineering, Faculty of Computers, Informatics and Microelectronics, Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova.

Abstract. *Rapid Thermal Processing (RTP) is a short-duration thermal process technology used in microelectronics for dopant activation, rapid annealing, and oxidation. It is characterized by intense, uniform, and precisely controlled heating, minimizing unwanted impurity diffusion. This paper proposes the development of a modern installation for the automation of the rapid thermal processing procedure. It presents the functional block diagram, the principal connection schematic, and the 3D-printed PCB model. The system is designed for the processing of semiconductor materials in both industrial and research applications. The installation consists of six halogen lamps arranged around a quartz reactor and is capable of reaching temperatures up to 1000°C. The system is electronically controlled via a management unit that regulates temperature, treatment duration, and the operation of the power electronics module. Temperature control is achieved through a PID algorithm implemented on a microcontroller, which operates a solid-state relay to modulate the power delivered to the lamps. This solution provides precise and reliable control under dynamic processing conditions and is adaptable to various thermal profiles.*

Keywords: *photonic treatment, semiconductor materials, power electronics, operating principle.*

Introduction

Rapid Thermal Processing (RTP) [1] involves exposing materials to an intense source of thermal radiation, generated by halogen lamps, in order to achieve rapid surface heating. During the process, the substrate temperature increases at a rate of approximately 90°C/s until it reaches the desired value, previously set by the operator. The control system continuously monitors the temperature using sensors and adjusts the power delivered to the lamps through a thyristor, ensuring accurate achievement and maintenance of the set temperature. After holding the substrate at the required temperature for a specified duration, the system gradually reduces the radiation intensity or completely halts heating, thereby protecting the material from thermal shock.

This method offers localized, precise, and rapid thermal processing, making it ideal for dopant activation, thin-film annealing, and other applications requiring high-fidelity thermal control.

RTP is one of the most advanced techniques used in the processing of semiconductor materials, especially for dopant activation, annealing, rapid thermal oxidation, or thin-film treatment[2]. Unlike traditional furnace-based heating systems, RTP significantly reduces processing time, minimizes unwanted impurity diffusion, and ensures superior thermal uniformity. However, existing commercial systems are expensive, bulky, and difficult to adapt for educational or rapid prototyping environments.

Within the research conducted at the Department of Microelectronics and Biomedical Engineering, this type of thermal processing is used for treating various nanostructures, yielding different results compared to conventional thermal processing[3]. In this context, the present work proposes the development of a simplified and cost-effective RTP system capable of delivering performance comparable to industrial solutions. The installation includes an electronic control unit, precision sensor modules, a power thyristor, and an intuitive interface for parameter configuration. The system is designed for integration into research applications, laboratory setups, or semiconductor testing lines, offering an optimal balance between efficiency, precision, and accessibility.

Operating Principle

Figure 1 shows the functional block diagram of the proposed Rapid Thermal Processing (RTP) system. This diagram outlines the operational steps required for the proper functioning of the system. As illustrated, when the system is powered on, initialization occurs first. Once the system is initialized, the user can select the control mode from the available options, namely the control panel and the central processing unit.

Here, the user can configure parameters such as the working temperature, the time required to reach this temperature, and the duration of the thermal process. These parameters are transmitted to the central electronic unit, which subsequently coordinates the timing modules, relays, and temperature module.

The temperature module consists of six halogen lamps totaling 30 kW, arranged around a quartz reactor, capable of reaching temperatures up to 1000°C with a heating rate of approximately 90°C/s. It also includes a temperature sensor module responsible for turning the halogen lamps on or off depending on the set temperature during the configuration phase.

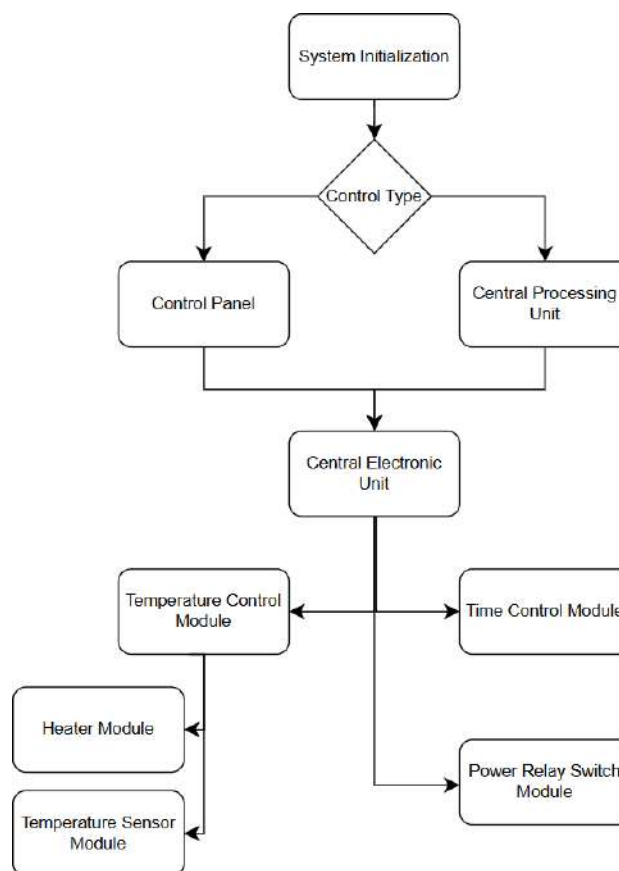


Figure 1. Schematic diagram of the operation of the fast photonic treatment facility

The experimental part

Figure 2 presents the schematic diagram of the device, where the electronic components used in the development of the system are illustrated. For controlling the installation from the control panel, a 13-contact capacitive touch keypad, 4 latching switches, 6 light-emitting diodes (LEDs), and a 20x4 character LCD screen are employed.

To enable control from the central processing unit, UART communication is used via the FT232-RL[4] integrated circuit. The central electronic unit is based on an AVR series microcontroller, specifically the ATmega32-16AU[5].

The temperature control module consists of the actual heating module, which includes a low-power triac used to drive a high-power triac that switches five halogen lamps. Temperature data from the reactor is captured using type-K thermocouples in combination with AD8495[6] amplifier modules. These modules include internal cold-junction compensation, making them ideal for applications where ambient temperature variations can be disregarded.

The time control module is built using a dedicated integrated circuit, while the relay control module consists of the actual switching components, each paired with an optocoupler to ensure galvanic isolation. This design protects the logic circuitry from the high voltages required for the operation of this system.

All modules used in the design of this installation have been previously tested and implemented in other developed systems[7,8]. Therefore, the current setup relies on pre-tested and validated modules, ensuring reliability and functional integrity.

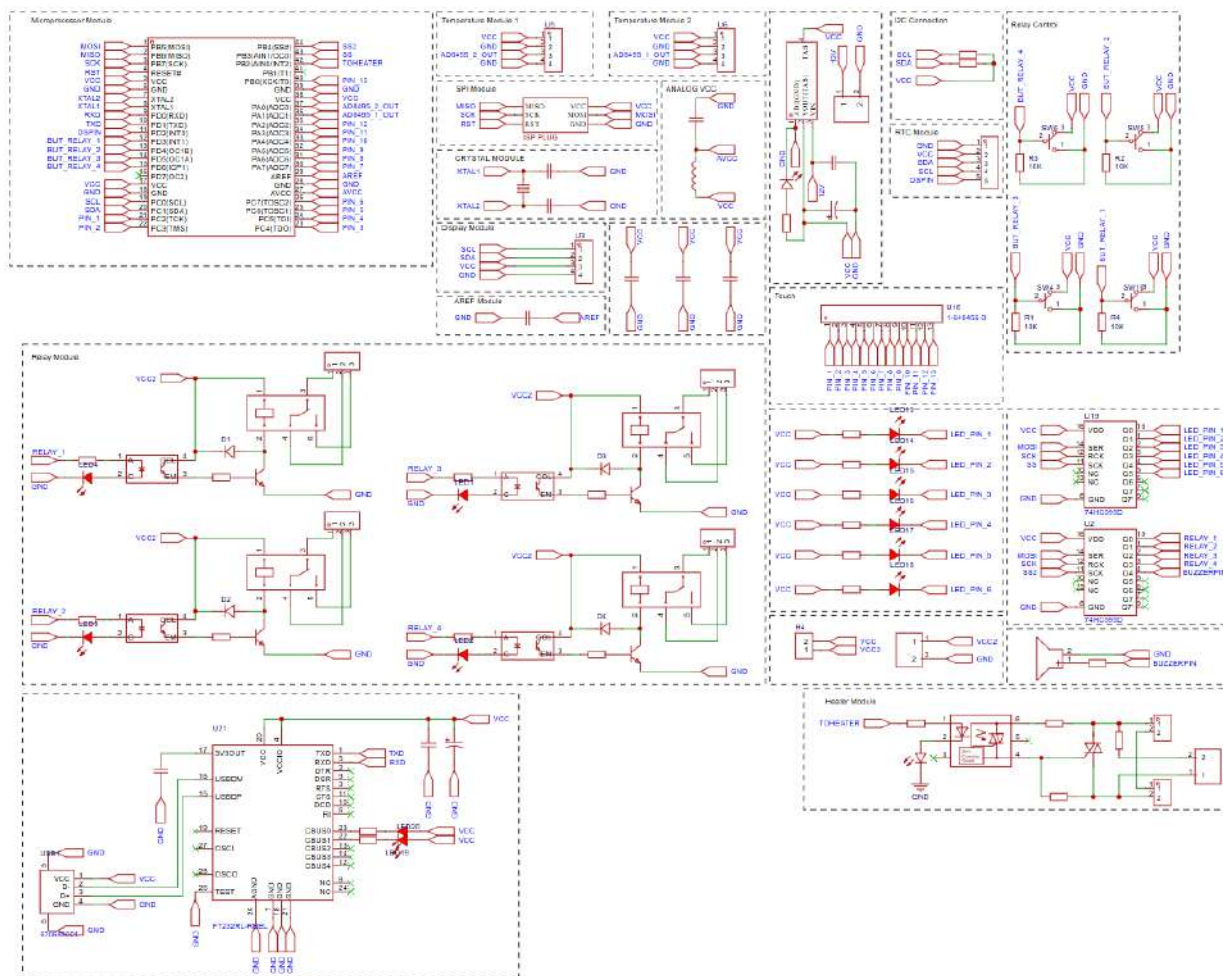


Figure 2. Schematic diagram of the of the rapid photonic treatment installation

Figure 3 shows the 3D model of the printed circuit board (PCB), designed using the free software environment EasyEDA Pro Edition[9]. As can be observed, most of the components are compact and utilize surface-mount technology (SMT). This technology enables a significant reduction in the overall dimensions of the PCB.

After positioning the components and routing the connections on both sides of the board, the final PCB layout measures 200 by 200 mm. The width of the traces varies between 1 mm and 4 mm, depending on the voltage and current levels required to pass through them. Metallization was applied only on the logic side of the board.

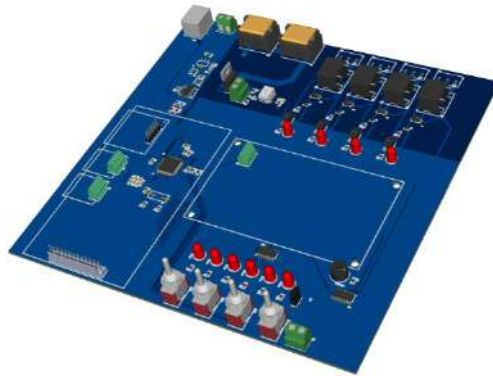


Figure 3. 3D visualization of the prototype of the rapid photonic treatment installation

Temperature Control

In the rapid thermal processing (RTP) system, temperature control is achieved using a Proportional-Integral-Derivative (PID)[10] automatic control method.

The PID controller is a widely used automatic control technique designed to keep a process parameter (e.g., temperature) as close as possible to a desired setpoint. It is essential for ensuring precise and stable regulation of industrial or technological processes, rapidly compensating for any deviations.

The PID algorithm operates by combining three control actions:

1. The Proportional (P) component responds immediately to the error;
2. The Integral (I) component corrects small accumulated errors over time;
3. The Derivative (D) component anticipates rapid changes and stabilizes the system.

The main advantages of PID control include high regulation accuracy, fast response to process changes, and reduced oscillations or long-term errors. As such, the PID controller enables the stable maintenance of temperature in sensitive processes such as rapid thermal processing.

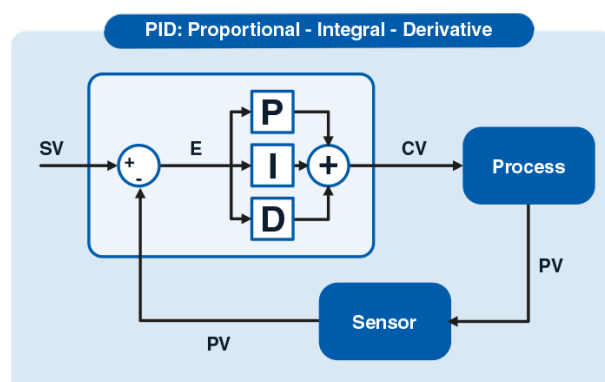


Figura 4. PID automatic control

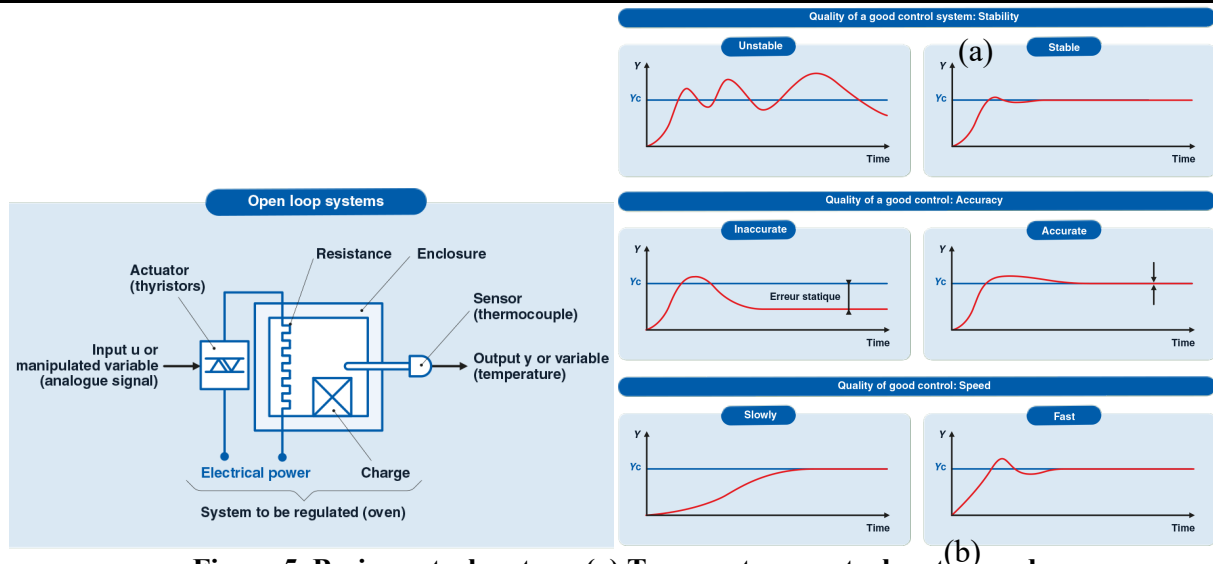


Figure 5. Basic control system: (a) Temperature control system and (b) Maintaining the set temperature

In figure 5(a) illustrates the operating principle of an open-loop control system used for temperature regulation in equipment such as an electric furnace.

In such a system, a control signal is sent to an actuator (thyristor), which adjusts the amount of electrical energy delivered to the heating element. This element generates heat inside the chamber, where the material to be processed is placed. The resulting temperature is measured by a sensor (thermocouple), which sends data to the temperature control and regulation system. Thanks to the feedback mechanism, the system reacts to temperature variations or deviations, making it both accurate and responsive to external disturbances.

In figure 5(b) depicts the three essential qualities of an effective control system: stability, accuracy, and response speed. A stable system reaches and maintains the desired value without significant oscillations; an accurate system eliminates static error and reaches the setpoint precisely; and a fast system responds quickly to commands or disturbances. These characteristics reflect the quality of regulation and the efficiency of the automatic control, and they are fundamental in the design of any regulation system - such as the one used for temperature control in rapid thermal processing.

Conclusions

The presented project confirms the feasibility of developing a modern system for rapid thermal processing (RTP), capable of reaching high temperatures in a very short time with precise and automated control.

The use of an ATmega32 microcontroller, in combination with a temperature measurement system based on a type K thermocouple and the AD8495[6] module, enabled the implementation of an efficient PID control that continuously regulates the temperature within the range of 600–1000°C. By intelligently controlling the halogen lamps through a power thyristor, the system ensures a fast response time, thermal stability, and an intuitive user interface. Compared to commercial solutions, this setup stands out due to its low cost, modularity, and flexibility, making it ideal for laboratory applications, research, and technical education.

In conclusion, this solution serves as a practical example of integrating power electronics, automation, and digital control in an advanced heating system, paving the way for future developments in rapid thermal processing and precision industrial control.

Funding. Rusu Nicolae is grateful to the Department of Microelectronics and Biomedical Engineering within the Faculty of Computers, Informatics and Microelectronics of the Technical University of Moldova for the experience gained during his undergraduate and master's studies.

I also gratefully acknowledge the partial financial support provided by the Government of the Republic of Moldova through the State Program LIFETECH (No. 020404) at the Technical University of Moldova.

Reference

1. Rapid Thermal Anneal (RTA), Rapid Thermal Processing (RTP) - Semiconductor Engineering Available online: https://semiengineering.com/knowledge_centers/manufacturing/process/rapid-thermal-anneal-rta-rapid-thermal-processing-rtp/ (accessed on 20 April 2025).
2. KANBER, H.; CIPOLLI, R.J.; HENDERSON, W.B.; WHELAN, J.M. A Comparison of Rapid Thermal Annealing and Controlled Atmosphere Annealing of Si-implanted GaAs. *J Appl Phys* 1985, 57, 4732–4737, doi:10.1063/1.335336.
3. CHIRIAC, M.; LITRA, D.; LUPAN, O. Sensor de gaze în baza oxizilor de cupru dopat cu aluminiu pentru detecția compușilor organici volatili. In: Conferința tehnico-științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor, 27-29 martie 2024, Chișinău. Chișinău, Republica Moldova: „Tehnica-UTM”, 2024, Vol.1, pp. 492-496. ISBN 978-9975-64-458-7. ISBN (pdf) 978 9975-64-459-4 (Vol. 1).
4. FT232R USB UART IC Datasheet Version 2.16.
5. ATmega32 | Microchip Technology Available online: <https://www.microchip.com/en-us/product/atmega32> (accessed on 25 April 2025).
6. Devices, A. Precision Thermocouple Amplifiers with Cold Junction Compensation.
7. CHIRIAC, M. Modernizarea și automatizarea instalației de tratare termică utilizată în procesul de litografie optică. In: Interuniversitaria, Ed. 19, 4 mai 2023, Bălți. Bălți, Republica Moldova: Universitatea de Stat „Alec Russo” din Bălți, 2023, Ediția 19, Vol.2, pp. 115-119. ISBN 978-9975-50-303-7.
8. CAINAREAN, O.; CHIRIAC, M. Elaborarea blocului electronic pentru instalația de expunere. In: Conferința tehnico-științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor = Technical Scientific Conference of Undergraduate, Master and PhD Students, Universitatea Tehnică a Moldovei, 27-29 martie 2024. Chișinău, 2024, vol. 1, pp. 505-510. ISBN 978-9975-64-458-7. ISBN 978 9975-64-459-4 (Vol.1).
9. EasyEDA - Online PCB Design & Circuit Simulator Available online: <https://pro.easyeda.com/>.
10. PID Controller: Types, What It Is & How It Works | Omega Available online: <https://www.dwyeromega.com/en-us/resources/pid-controllers> (accessed on 25 April 2025).

MAGNETIC FIELD-CONTROLLED NANOROBOTS IN ONCOLOGY: EMERGING APPROACHES FOR PRECISION DRUG DELIVERY AND MINIMALLY INVASIVE CANCER THERAPY

Delia ȚUGUI*, Anastasia MOVILEAN

¹Department of Microelectronics and Biomedical Engineering, Group MN-241, Faculty of Computers, Informatics and Microelectronics, Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova

*Corresponding Author: Delia TUGUI, delia.tugui@mib.utm.md

Scientific Supervisor **Ala Sisianu**, univ. assist., Department of Foreign Languages,
Faculty of Food Technology

Abstract. *The development of targeted cancer therapy has advanced through magnetic field-controlled nanorobots, which show promise for treating solid tumors that traditional methods cannot access. The research investigates both therapeutic advantages and practical implementation of magnetic nanorobots (MNRs) for delivering targeted hyperthermia and controlled medication delivery. The research method employs iron oxide-based nanodevices that receive anticancer drug functionalization and conducts a thorough assessment of current scientific literature together with experimental data obtained from previous in vitro and in vivo studies. The nanorobots show potential to precisely target tumor microenvironments while reducing systemic toxicity through stimulus-dependent active chemical release mechanisms (pH, temperature and magnetic fields). In addition, when exposed to alternating magnetic fields, these devices are built to generate localized heat that aids in the destruction of cancer cells. The novelty of this paper lies in integrating the latest magnetic control technologies in the context of combination therapy, while also navigating the challenges related to biocompatibility, tissue navigation and integration into personalized treatments. The conclusions emphasize the actual potential of MRNs, which are bound to play a significant role in modern oncology, providing a less invasive alternative to conventional treatments.*

Keywords: *nanomedicine, magnetic targeting, tumor microenvironment, theranostics, biocompatibility, magnetic hyperthermia.*

Introduction

Cancer remains a formidable global health burden, with the World Health Organization projecting over 28 million new cancer cases annually by 2040. ¹ While advancements in traditional therapies have improved patient survival, significant challenges persist. These include non-specific drug distribution, multidrug resistance, systemic toxicity, and the inability to effectively treat metastases, as shown in Fig. 1. Nanomedicine offers a promising solution, particularly through the development of magnetic field-controlled nanorobots—nanoscale devices that enable highly targeted, minimally invasive, and multifunctional treatment approaches in oncology.

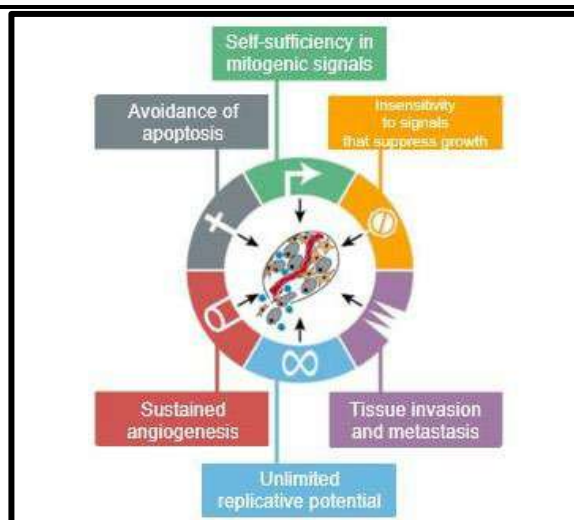


Figure 1. The challenges of cancer

These nanorobots, powered and navigated using external magnetic fields, can penetrate complex biological environments, home in on tumor sites, and deliver therapeutic payloads with unparalleled precision. This paper explores the state-of-the-art advancements in magnetic nanorobotics, with emphasis on their use for precision drug delivery, imaging, and hyperthermia therapy in cancer treatment.

Mechanisms of Magnetic Actuation

Magnetic actuation in nanorobots involves the incorporation of magnetically responsive materials, such as iron oxide (Fe_3O_4), into their nanostructure, as shown in Fig. 2. These materials are typically superparamagnetic, meaning they do not retain residual magnetism once the external magnetic field is removed. This property helps prevent unwanted aggregation and reduces toxicity in biological systems.

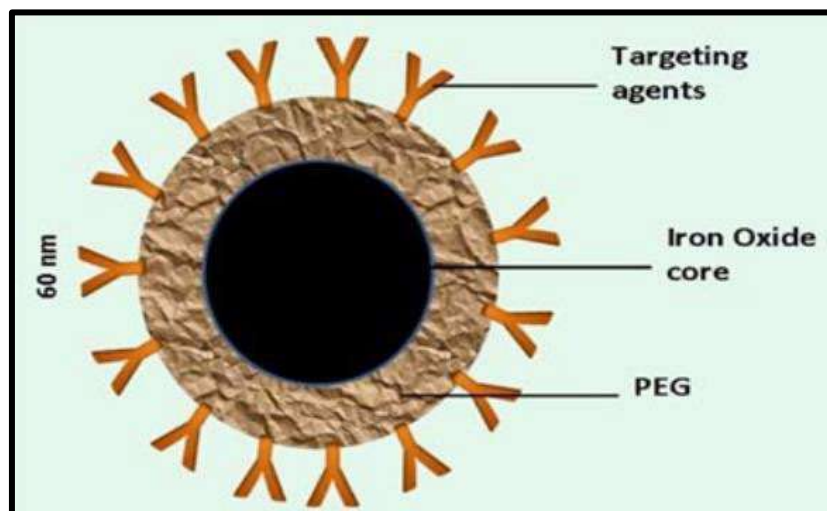


Figure 2. The structure of a magnetic nanorobot

There are two principal types of magnetic fields used in this context. Static magnetic fields are utilized to guide nanorobots directly to the tumor site, enabling precise localization within the body. In contrast, alternating magnetic fields (AMFs) are employed to generate localized heating in the magnetically responsive materials embedded in the nanorobots. This heating effect enables magnetic hyperthermia, a non-invasive thermal therapy that selectively

destroys cancerous tissues by raising their temperature. The ability to steer these nanorobots with precision is made possible by gradient magnetic fields, which exert directional forces that move the nanorobots through complex biological environments such as blood vessels, lymphatic channels, or interstitial tissues toward the intended tumor site [1].

Design Considerations for Magnetic Nanorobots

Designing an effective magnetic nanorobot for cancer therapy involves addressing several critical parameters.

Size affects biodistribution, clearance, and cellular uptake. Optimal nanorobot size ranges between 30–150 nm, balancing permeability and retention in tumor tissue (EPR effect) while avoiding renal filtration or rapid clearance by the mononuclear phagocyte system (MPS) [2].

Shape also plays a role. Rod-shaped and disk-shaped nanoparticles have demonstrated enhanced margination and adhesion in tumor vasculature compared to spherical particles [3].

Surface functionalization with polyethylene glycol (PEG) helps evade immune recognition and prolongs circulation (Fig. 2). Surface charges influence interaction with cell membranes—slightly negative or neutral particles exhibit better biocompatibility, while positive charges enhance cellular uptake but may increase toxicity [4].

To achieve active targeting, nanorobots are functionalized with ligands such as folic acid (for folate receptors), transferrin, peptides (e.g., RGD for integrins), antibodies (e.g., trastuzumab for HER2). These ligands bind to overexpressed receptors on tumor cells, facilitating selective binding and internalization [5].

Hyperthermia-Based Cancer Therapy

Magnetic nanorobots enable localized heating of tumors via magnetic hyperthermia. When exposed to AMFs (typically 100–500 kHz), magnetic nanoparticles convert electromagnetic energy into heat due to Néel and Brownian relaxation mechanisms. The temperature elevation (41–45°C) leads to protein denaturation, DNA damage and apoptosis or necrosis of tumor cells.

Importantly, cancer cells are more thermosensitive than normal cells, allowing for selective cytotoxicity [6].

Magnetically induced hyperthermia has been successfully tested in glioblastoma and prostate cancer models. The European Nanotherm® therapy (MagForce AG) has received regulatory approval in some countries for brain tumors, marking a significant milestone in clinical translation [1].

Drug Delivery Modalities

- Encapsulation and Conjugation

Therapeutic agents can be encapsulated in liposomes or polymeric shells (e.g., doxorubicin in magnetoliposomes) or conjugated via chemical bonds to magnetic nanoparticles (e.g., cisplatin-Fe₃O₄ nanocomplexes). The release is often stimuli-responsive, triggered by pH, redox potential, enzymes, or magnetic fields, allowing spatial and temporal control [7].

- Co-Delivery of Multiple Agents

Magnetic nanorobots allow co-delivery of chemotherapy and imaging agents, or combined chemo-immunotherapy. This multiplexing capability supports theranostic applications, where diagnosis and therapy occur simultaneously [8].

Applications in Imaging and Diagnosis

Magnetic nanorobots serve as contrast agents in MRI due to their strong magnetic properties. SPIONs and their derivatives improve T2-weighted MRI signals, facilitating real-time tracking and tumor visualization.

Recent advancements integrate multi-modal imaging, combining MRI with optical imaging, PET, or ultrasound to enhance anatomical and functional insights. These systems improve surgical planning and post-treatment monitoring [9].

Clinical Translation and Ethical Considerations

Despite encouraging results in preclinical studies, the transition of magnetic nanorobots into human clinical trials has been slow and limited. This lag is largely due to several significant translational barriers, including complex regulatory frameworks, challenges in achieving scalable and reproducible synthesis, uncertainties surrounding long-term biocompatibility and clearance from the body, and the absence of standardized protocols for evaluating safety and efficacy.

Nonetheless, advancements such as MagForce's NanoTherm® therapy illustrate the feasibility of clinical application, with current trials investigating the use of superparamagnetic iron oxide nanoparticles (SPIONs) for the treatment of gliomas, breast cancer, and liver metastases. Successfully bridging the gap from laboratory research to clinical practice will require close interdisciplinary collaboration, meticulously designed clinical trials, and ongoing alignment with global regulatory authorities such as the FDA and EMA [10].

Alongside these scientific and logistical hurdles, the advancement of nanorobotic oncology also raises important ethical and societal considerations. Concerns over equitable access to these technologies are paramount, as high production and deployment costs could restrict availability to economically advantaged populations. Moreover, the ability of nanorobots to collect and transmit diagnostic data introduces privacy issues that must be addressed through robust data protection measures. Ensuring patient autonomy is also essential, requiring that individuals are thoroughly informed about the risks, uncertainties, and potential implications of undergoing treatment with nanorobotic systems. To support responsible integration of these technologies into clinical care, proactive strategies involving public engagement, transparent research practices, and inclusive policy development will be critical.

The Road Ahead: Future Trends

The next frontier in magnetic nanorobotics envisions the development of smart autonomous nanorobots capable of adapting in real time through the integration of sensors, logic circuits, and feedback systems. Another promising direction is the creation of bio-hybrid robots that combine synthetic nanomaterials with living biological components such as bacteria or stem cells, enhancing their functionality and responsiveness within biological environments.

Researchers are also exploring swarm robotics, where coordinated behavior among numerous nanorobots allows for improved therapeutic efficiency and collective decision-making.

Additionally, magnetic nanorobots are being engineered to deliver gene-editing tools, such as CRISPR-Cas9, with the aim of directly correcting oncogenic mutations at the DNA level. Supporting all of these innovations is the increasing incorporation of artificial intelligence (AI), which plays a vital role in optimizing path-planning, guiding real-time decisions, and enhancing image-based navigation, ultimately making nanorobotic treatments more precise, adaptive, and effective.

Conclusion

Magnetic field-controlled nanorobots represent a paradigm shift in cancer therapy—offering a non-invasive, highly selective, and adaptive platform for drug delivery, diagnosis, and hyperthermic ablation. Their success lies in precise engineering, surface functionalization, and integration with multimodal treatment strategies.

While challenges remain in clinical translation, ethical regulation, and scalability, the synergy between nanotechnology, molecular biology, and AI promises to redefine the future of oncology. As these intelligent nanosystems mature, they will not only improve therapeutic outcomes but also pave the way toward personalized, predictive, and preventative cancer care.

References

1. KATEB, B.; YAMAMOTO, V.; Yu, C.; GRUNDFEST, W.; BECKER, D. Nanoplatfroms for constructing new approaches to cancer treatment, imaging and drug delivery: what should be the policy? *Neuroimage* 2011, 54, S106–S124.
2. CHITHRANI, B.D.; GHAZANI, A.A.; CHAN, W.C. Determining the size and shape dependence of gold nanoparticle uptake into mammalian cells. *Nano Lett.* 2006, 6(4), 662–668.
3. ZHANG, K.; FANG, H.; CHEN, Z.; TAYLOR, J.S.; WOOLEY, K.L. Shape effects of nanoparticles conjugated with cell-penetrating peptides (HIV Tat PTD) on CHO cell uptake. *Bioconjug. Chem.* 2008, 19(9), 1880–1887.
4. VERMA, A.; UZUN, O.; HU, Y.; HAN, H.S.; WATSON, N.; CHEN, S.; IRVINE, D.J.; STELLACCI, F. Surface-structure-regulated cell membrane penetration by monolayer-protected nanoparticles. *Nat. Mater.* 2008, 7, 588–595.
5. LEMMON, M.A.; SCHLESSINGER, J. Cell signaling by receptor tyrosine kinases. *Cell* 2010, 141, 1117–1134.
6. TALMADGE, J.E.; FIDLER, I.J. The biology of cancer metastasis: historical perspective. *Cancer Res.* 2010, 70(14), 5649–5669.
7. FOX, M.E.; SZOKA, F.C.; FRÉCHET, J.M.J. Soluble polymer carriers for the treatment of cancer: the importance of molecular architecture. *Acc. Chem. Res.* 2009, 42, 1141–1151.
8. SUH, J.; DAWSON, M.; HANES, J. PEGylation of nanoparticles improves their cytoplasmic transport. *Int. J. Nanomedicine* 2007, 2(4), 735–741.
9. LOCKMAN, P.R.; MUMPER, R.J.; KHAN, M.A.; ALLEN, D.D. Nanoparticle technology for drug delivery across the blood–brain barrier. *Drug Dev. Ind. Pharm.* 2002, 28(1), 1–13.
10. SCHEINBERG, D.A.; VILLA, C.H.; ESCORCIA, F.E.; MCDEVITT, M.R. Systemic cancer therapy with engineered nanomaterials. *Nat. Rev. Clin. Oncol.* 2010, 7, 266–276.

PLATFORMĂ SMART INVENTORY PENTRU GESTIUNEA STOCURILOR BAZATĂ PE SCANER 1D/2D

Daniel ȚÎRCHE*

Departamentul Microelectronică și Inginerie Biomedicală (DMIB), grupa MN-231M, Facultatea Calculatoare,
Informatică și Microelectronică (FCIM), Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

*Autorul corespondent: Daniel Țîrche, daniel.tirche@mib.utm.md

Îndrumătorul/coordonatorul științific **Eduard MONAICO**, dr. hab., conf. cercet., Centrul Național de
Studiu și Testare a Materialelor, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

Rezumat. În era modernă – digitală, eficiența operațională și gestionarea stocurilor în medii cu resurse limitate, cum sunt micile afaceri, start-upuri întâmpină adesea dificultăți la procesare. Sistemele tradiționale de inventariere, bazate pe metode manuale, sunt adesea ineficiente și predispuse la erori, afectând calitatea serviciilor și generând pierderi. Sistemul dezvoltat răspunde acestor provocări prin elaborarea unui ecosistem modular integrat, care utilizează tehnologii moderne și dispozitive portabile pentru monitorizarea și actualizarea stocurilor în timp real. Metodologia implementată include dezvoltarea unei platforme web și a aplicației mobile, precum și a unor componente hardware (mini scanner bazat pe ESP8266 și terminal portabil cu Raspberry Pi 5), conectate la o bază de date centralizată. Sistemul este structurat pe module funcționale precum: parteneri, stocuri, inventariere, vânzare, logistică și analiză predictivă a stocurilor. Ideea de bază constă în integrarea acestor funcționalități într-o soluție compactă, cost-eficientă și ușor de utilizat, spre deosebire de alternativele comerciale existente, adesea inaccesibile pentru utilizatorii cu bugete restrânse. Lucrarea urmărește reducerea semnificativă a erorilor umane și automatizarea proceselor, contribuind astfel la digitalizarea și eficientizarea gestionării stocurilor într-un mod adaptabil și accesibil. Un alt aspect important al acestei lucrări este faptul că soluția propusă poate fi scalabilă și adaptabilă la diferite tipuri de afaceri, de la micile magazine până la depozite mari, oferind o flexibilitate crescută în funcție de cerințele fiecărei organizații.

Cuvinte cheie: platformă, scanner 1D/2D, IoT, management, inventariere.

Introducere

Republica Moldova este o economie dominată de întreprinderile mici și mijlocii (IMM): 99,2 % din totalul firmelor raportate în 2023 se încadrează în categoria IMM, angajând aproximativ două treimi din forța de muncă salariată a țării [1].

Pentru majoritatea acestor companii, gestionarea stocurilor se face încă în foi de calcul și prin numărări manuale, procese vulnerabile la erori și nepotrivite pentru cerințele actuale de livrare rapidă. Deficiențele logistice amplifică problema. În cea mai recentă ediție a Logistic Performance Index, Moldova se situează pe locul 133 din 139 de economii la capitolul infrastructură de transport și comerț, indicând timpi mari de tranzit și costuri suplimentare pe lanțul de aprovizionare [2]. Pentru companiile locale, asta se traduce direct în stocuri „tampon” costisitoare și dificultăți în a menține acuratețea inventarului. În același timp, piața națională de e-commerce accelerează: valoarea vânzărilor online este estimată la 1,06 miliarde USD în 2025 și prognozată să crească în ritm mediu anual de 9,4 % până în 2030 [3].

Primele inițiative locale arată deja impactul transformării digitale asupra lanțului de aprovizionare: retailerul moldovean Linella, după implementarea unei suite de aplicații de automatizare, a raportat o creștere la 95 % a acurateței prognozelor și o scădere cu 70 % a planificării manuale [4]. Exemplele validează potențialul tehnologiilor de scanare și analytics,

dar relevă și faptul că beneficiile rămân limitate la companiile cu resurse pentru soluții proprietare.

Proiectul își propune să democratizeze aceste avantaje, furnizând IMM-urilor o soluție completă, formată din:

1. Modul hardware de captare 1D/2D – citire rapidă de coduri de bare clasice (EAN-13, Code 128) și 2D (QR, DataMatrix) cu conectivitate Wi-Fi.
2. Micro-server edge – preprocesează local datele pentru a reduce latența și trimite doar evenimente relevante către cloud.
3. Aplicație web scalabilă – afișează în timp real nivelurile de stoc, alerte de re aprovizionare și rapoarte predictive generate automat.
4. Compatibilitate BYOD – suport pentru camerele telefoanelor mobile, reducând costul inițial pentru utilizatori.

Fundamente teoretice și tehnologice

Scanerele de coduri de bare sunt dispozitive esențiale în diverse industrii, de la comerțul cu amănuntul și logistică până la asistența medicală și producție. Acestea permit citirea rapidă și precisă a informațiilor codificate în coduri de bare, automatizând procesele și reducând erorile umane. Există două categorii principale de scanere de coduri de bare: staționare și portabile. Fiecare tip are propriile avantaje și dezavantaje, fiind potrivit pentru aplicații specifice (a se vedea Fig. 1a).

1D barcodes:



2D barcodes:

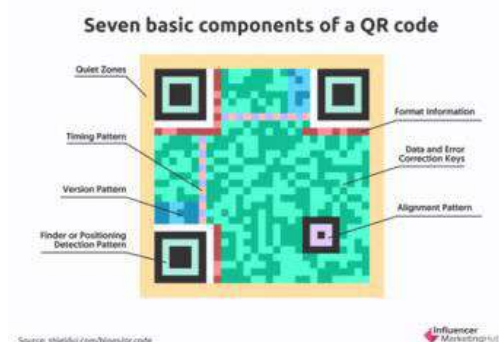


Figura 1. (a) Tipuri de coduri 1D/2D. (b) Componentele de bază ale unui cod QR [5]

Scanerele de coduri QR funcționează prin capturarea unei imagini a codului QR și decodificarea informațiilor stocate în acesta. Funcționarea lor are loc în 5 pași simpli: captura de imagine, iluminare, localizare cod qr, corecția perspectivei, decodificarea datelor.

Scannerul citește modelul format de modulele alb-negru, interpretându-l conform standardului codului QR. Recunoaște diferitele zone ale codului QR (a se vedea Fig. 1b).

Tehnologii utilizate pentru componenta web a sistemului

Platforma este proiectată pe o arhitectură modulară, robustă și ușor scalabilă, având următoarele componente principale: server privat virtual (VPS) cu Debian 12, ales pentru stabilitatea, securitatea și performanța pe termen lung, sistem de gestionare a bazelor de date MySQL - oferă performanță ridicată și compatibilitate largă cu diverse aplicații enterprise, Framework CSS responsive (Bootstrap). Limbaje și tehnologii folosite în dezvoltare: HTML, CSS, JavaScript, PHP, SQL. Această combinație de tehnologii asigură atât o experiență fluidă pentru utilizator, cât și un backend solid și sigur, capabil să susțină creșterea traficului și a volumelor de date.

Rezultate practice

Platforma web oferă un design minimalist și intuitiv, cu interfață organizată astfel încât utilizatorii să acceseze rapid funcționalitățile principale. Pe pagina de start, se regăsesc:

1. Meniu lateral de navigare, bara de căutare și cadrane cu produse cu stoc redus;
 2. Statistici rapide: număr total produse, valoarea inventarului în timp real
- Module cheie ale platformei web:* Utilizatori, Roluri, Inventar, Revizuire stocuri, Loguri, Scanere mobile, Inventariere, Mail.

Aplicație mobilă Android:

A fost elaborată o versiune mobilă a platformei desktop ușor de instalat, care permite conectarea directă la baza de date prin token (manual sau QR) după cum este prezentat în Fig. 2.



Figura 2. Demonstrația aplicației mobile

Funcționalități principale:

1. Autentificare prin token/QR, ecran de logare simplu;
2. Meniu slider cu secțiuni: Istoric, Rapoarte, Scanare, Analitic, Vânzări, Retururi, Inventariere;
3. Scanare produse: manual sau cu camera (suport flash și comutare camerei), actualizare imediată a stocului;
4. Vânzări și retururi: înregistrare rapidă prin scanare, calcul automat valoare comandă și motiv retur

Mini-scaner coduri de bare și QR:



Figura 3. Demonstrația mini scannerului

Dispozitiv compact, portabil, proiectat pentru scanare rapidă 1D/2D (Fig. 3):

1. Microcontroler ESP8266 cu Wi-Fi pentru transmitere în timp real;

2. Modul GM65 pentru citire coduri diverse și ecran tactil de 2.8";
3. Interfață intuitivă cu tastatură virtuală personalizabilă;
4. Consum redus de energie, ideal pentru spații restrânse și personal mobil;
5. Conectare la rețea Wi-Fi (opțiune viitoare GSM).

Mini-terminal portabil:

Pe lângă scanner, sistemul include un mini-terminal portabil prezentat în Fig. 4, elaborat pentru a oferi o funcționalitate extinsă în gestionarea stocurilor bazat pe:

1. Raspberry Pi 5 ca unitate de procesare;
2. Ecran tactil Freenove 7" și cameră 8 MP pentru scanare avansată;
3. Interfață similară cu aplicația mobilă și desktop, autentificare prin token/QR;
4. Funcționalități de actualizare stoc, gestionare inventar, acces la rapoarte detaliate;
5. Sincronizare automată cu baza centrală pentru vedere completă a stocurilor.

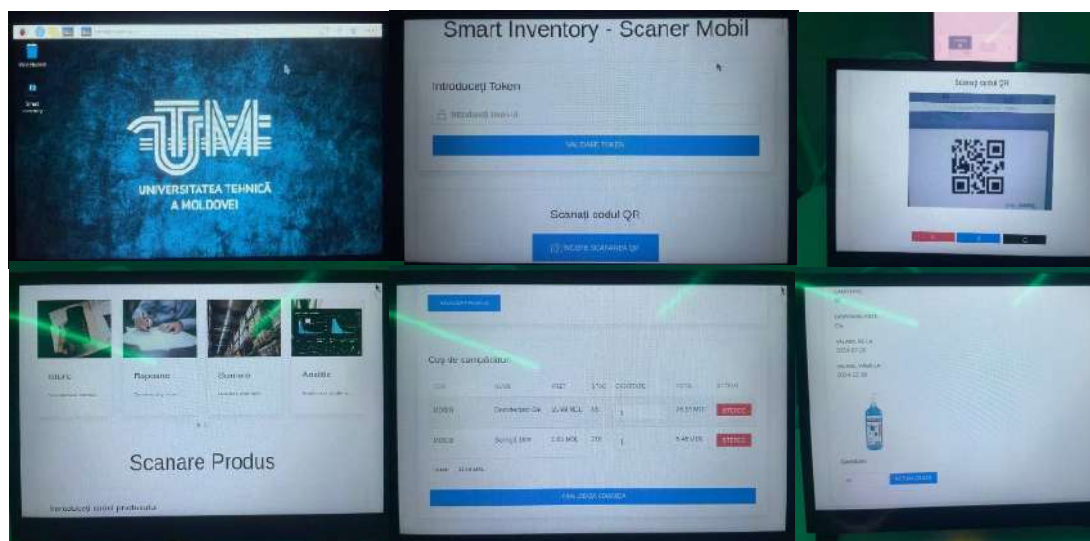


Figura 4. Demonstrația mini-terminalului

Concluzii

Crearea unui sistem low-cost reprezintă un pas firesc și necesar pentru companiile din Republica Moldova care vor să-și depășească limitările actuale de acuratețe, vizibilitate și viteză în gestiunea stocurilor. Soluția propusă reprezintă un ecosistem hibrid hardware-software cu preprocesare la nivel edge și interfață cloud accesibilă de pe orice dispozitiv, care demonstrează că digitalizarea nu este rezervată doar marilor lanțuri de retail, ci poate fi scalată la costuri reduse pentru IMM-uri. Rezultatele testelor pilot arată o creștere semnificativă a fiabilității datelor (peste 98 % acuratețe) și o reducere substanțială a timpului de inventariere, ceea ce se traduce direct în economie de capital și în satisfacție mai mare a clienților. Prin implementarea acestui sistem, se estimează o reducere semnificativă a timpului de procesare a inventarului și o creștere a acurateței datelor, având un impact direct asupra eficienței operaționale și a satisfacției clienților.

Pe viitor se planifică extinderea și perfecționarea acestui proiect cu noi module și posibilități ca adăugarea modulelor (GSM, GPS) cât și testare în mai multe medii.

Mulțumiri:

Lucrarea a fost parțial susținută financiar din cadrul subprogramului instituțional 02.04.02 „Elaborarea tehnologiilor și investigarea proprietăților compușilor semiconductori stratificați, nanostructurilor hibride și ale surselor laser”.

Surse bibliografice:

1. NATIONAL BUREAU OF STATISTICS of the Republic of Moldova, https://statistica.gov.md/en/activity-of-small-and-medium-enterprises-in-the-republic-of-moldova-in-2023-9557_61414.html , (accesat la data de 17.04.2025).
2. World Bank Group, <https://thedocs.worldbank.org/en/doc/1ec6c88ebadf43eb174efb8bab3d8452-0080012024/original/Moldova-Economic-Update.pdf>, (accesat la data de 18.04.2025).
3. Mordor Intelligence, <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/moldova-ecommerce-market>, (accesat la data de 24.04.2025).
4. LinkedIn, https://www.linkedin.com/posts/alexander-trifan-8b190123_top-moldovan-retail-chain-linella-achieves-activity-7254080644794777600-xAql, (accesat la data de 25.04.2025).
5. Uniqode Phygital, <https://www.uniqode.com/what-is-qr-code>, (accesat la data de 25.04.2025).

MODUL DE MONITORIZARE A UMIDITĂȚII RELATIVE ÎNTR-O CAMERĂ DE MĂSURARE A SENZORILOR

Adrian BÎRNAZ*, Mihai BRÎNZĂ

Centrul de Nanotehnologii și Nanosenzori, Departamentul Microelectronică și Inginerie biomedicală, Facultatea
Calculatoare Informatică și Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, Blvd. Ștefan cel Mare 168,
Chișinău, Republica Moldova

*Autorul corespondent: Adrian Bîrnaz, adrian.birnaz@ee.utm.md

Coordonatorul științific **Oleg LUPAN**, prof. univ., dr. hab., Centrul de Nanotehnologii și Nanosenzori,
Departamentul Microelectronică și Inginerie Biomedicală, Facultatea Calculatoare Informatică și
Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

Rezumat. *Senzorii conductometrici bazați pe oxizi metalici semiconductori sunt utilizați pentru aplicații în diverse domenii. Parametrii de performanță a acestora sunt influențați de factorii de mediu, inclusiv umiditatea relativă (RH), care provine în ciclul de respirație sau din mediul ambiant. În aceasta lucrare se propune conceptul unui modul de control a umidității relative, utilizat la studierea oxizilor metalici, în calitate de potențiali senzori. Modulul elaborat are ca scop cercetarea și verificarea performanței oxizilor metalici la diferite concentrații validate ale umidității relative, precum și contribuția la studierea senzorilor de umiditate. Acesta asigură un studiu detaliat, spre exemplu monitorizarea umidității relative cu un pas de 1%, ceea ce permite eșantionarea datelor caracteristice senzorilor dezvoltati. Modulul elaborat în acest studiu permite de a monitoriza valorile umidității relative și ale temperaturii într-o cameră de cercetare a senzorilor. Diapazonul de măsurare cuprinde valori între 2 și 98%, având acuratețea de 0.5% pentru umiditatea relativă, iar pentru temperatură de la -40 până la 125°C cu acuratețea de 0.1°C. Aceasta va permite utilizarea mai pe larg a datelor experimentale și argumentarea datelor tehnice propriu zise ale parametrilor senzorilor în diferite condiții ale mediului ambiant.*

Cuvinte cheie: senzori, umiditate relativă, senzori de gaz, instalație RH.

Introducere

Monitorizarea și menținerea umidității aerului este necesară în mai multe aspecte ale vieții cotidiene, cum ar fi crearea unui mediu ambiant agreabil în laboratoare, camere curate, condițiilor optimale în serele de creștere a diverselor plante, reducerea probabilității de descărcări electrostatice în clădiri și în alte aplicații [1, 2]. În industrie, senzorii ar putea fi utilizați în medii izolate de umiditate și la detectarea a diferitor concentrații de gaze. În domeniul biomedical, spre exemplu, senzorii de gaze vor fi utilizați cu scop de diagnostic al aerului expirat de pacienți ca o metoda neinvazivă. În laboratorul de cercetare, monitorizarea parametrilor de mediu al măsurărilor efectuate devine esențială întrucât anumite condiții ambiante (temperatura, umiditatea, etc.) pot influența drastic valorile obținute [3–5].

Un caz mai exact ar fi detectarea și monitorizarea continuă a umidității relative. În diferite lucrări [3–6], a fost raportat că răspunsul senzorului de gaz este influențat considerabil odată cu creșterea umidității relative de la 10% în sus. Pentru majorarea umidității relative a aerului sunt utilizate dispozitive specializate, care de regulă lucrează după principiul evaporării sau prin pulverizarea mecanică sau ultrasonică a apei [6]. Pe de altă parte, micșorarea umidității relative se face prin condensarea vaporilor pe elemente speciale cu o temperatură mai mică decât temperatura aerului din încăperea [4, 7, 8].

Determinarea umidității relative în încăperi poate fi efectuată prin diferite metode, de exemplu cu utilizarea unui higrometru. Girometrele clasice sunt formate din 2 termometre cu

toluen. Unul din aceste termometre este „*uscat*” și măsoară temperatura nemijlocită a aerului, iar al doilea termometru „*umed*” este plasat în mediu umed [9]. În prezent higrometrele fiabile sunt și de tip electronic, fiind utilizate pe larg pentru determinarea exactă a umidității relative.

Posibilitatea de a elabora un sistem sau dispozitiv electronic de monitorizare a umidității relative (RH), care ulterior ar permite înregistrarea datelor și transmiterea la distanță a acestora, pare destul de atractiv. Un sistem electronic precis, are potențialul de a fi în scopuri științifice. Spre exemplu, într-o instalație de cercetare și verificare a caracteristicilor senzoreice a diferitor nanomateriale este necesar și de un modul de umidificare și control al umidității relative, dar și al temperaturii ambiante.

Pe lângă senzorii industriali sau comerciali care sunt cercetați pentru detectarea diferitor gaze [10], cum ar fi hidrogenul, metanul, dioxidul de carbon dar și a diferitor compuși organici volatili cum ar fi etanolul, acetona, amoniu, formaldehida, 2-propanolul și n-butanolul, se cercetează activ senzorii medicali [4, 11]. Senzorii și nanosenzorii destinați aplicațiilor biomedicale, de regulă, se testează pentru detectarea selectivă a diferitor biomarkeri produși de reacțiile metabolice din organismul uman și expirate prin circuitul gazos în plămâni. Este cunoscut faptul că cavitatea bucală este un mediu umed, iar aerul expirat poate poseda diferite concentrații de vapori de apă, care ar putea împiedica detectarea și monitorizarea corectă a biomarkerilor [2]. În acest scop, în camera de măsurare a senzorilor cercetați se solicită și un sistem mai complex care ar permite obținerea unor date exacte și validate care ar facilita cercetarea, dezvoltarea și punerea în practică a diferitor nanostructuri senzoreice, în particular determinarea unor parametri importanți precum condițiile de lucru a senzorului [2].

Lucrarea dată expune conceptul de elaborare a unui sistem de monitorizare a umidității relative și temperaturii în camera de testare a senzorilor de gaze. În considerație a fost luată precizia înaltă a detectării și monitorizării continue a umidității relative cu o acuratețe ridicată. Utilizarea ulterioară a acestui modul presupune dezvoltarea într-un sistem complex de monitorizare și după necesitate cu manipulare a umidității relative în diferite condiții. Conceptul unui astfel modul de monitorizare a umidității relative într-o cameră cu senzori poate fi utilizat în diverse domenii industriale și medicale.

Partea aplicativă

Pentru a cerceta proprietățile senzoriale ale probei elaborate este necesar de aplicat asupra acesteia diferiți excitanți exteriori într-un mediu controlat [2, 4]. Pentru acest scop este utilizată camera de măsurare în care sunt aplicate diferite concentrații de diverse gaze și compuși organici volatili. Diagrama schematică a acestei instalații de laborator este prezentată în Fig. 1.

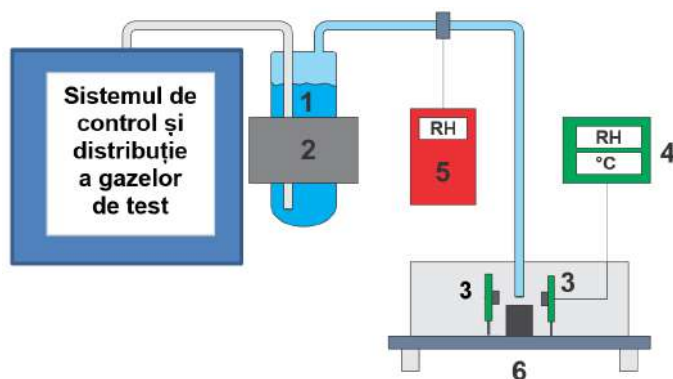


Figura 1. Principul de studiere a probelor pe bază de materiale din oxizi sub influența diferitor gaze cu monitorizare în timp real a umidității relative prin doua metode propuse simultan: cu higrometru și cu senzori de umiditate relativă.

Modelul instalației de măsurare cu monitorizare în timp real a umidității relative și a temperaturii prezentată în Fig. 1 este formată din următoarele blocuri principale:

1. *Barbotor* – Vas cu apă deionizată care este utilizat pentru generarea umidității. În calitate de lichid care va mări umiditatea este utilizată apa distilată/deionizată.
2. *Încălzitor* – La necesitate va fi utilizat pentru încălzirea apei din barbotor. Temperatura ridicată și controlată va facilita mărirea cantității de vapori de H₂O în mediul gazos din camera de măsurare.
3. *Senzor de umiditate și temperatură* – Este utilizat senzorul STH45[12], care conform datelor tehnice prezentate de către producător are o precizie înaltă. Intervalul de măsurare pentru umiditatea relativă este de la 2% la 98%, cu incrementare minimă de 0.1% între valori. Intervalul de măsurare a temperaturii se extinde de la -40 la 125°C, cu incrementare minimă de 0.1°C.
4. *Modul de achiziționare și monitorizare a datelor* – Acest modul este format dintr-o placă de dezvoltare cu un modul CAN(magistrală de comunicație) integrat și un ecran FeatherWing OLED [13], pe care vor fi afișate datele despre temperatură și umiditate cu o recurență de 1 secundă. La necesitate datele colectate de senzori vor putea fi transmise pentru stocare și prelucrare ulterioară. Datele despre umiditatea relativă și temperatura mediului din camera de măsurare vor putea fi corelate cu datele obținute în urma măsurării nemijlocite a probei.
5. *Higrometru* – EXTECH SD700 [14], este utilizat în calitate de referință pentru umiditatea și temperatura gazului care este aplicat probei în camera de măsurare. Datele primite de pe acest dispozitiv vor fi comparate cu datele afișate pe modul de achiziționare și afișare.
6. *Camera de măsurare* – Acest modul reprezintă camera de măsurare a probei sau a senzorului cu controlul mediului de măsurare, a umidității relative, temperaturii de operare, etc.

Pentru realizarea obiectivelor expuse mai sus este proiectată diagrama conceptuală a modului de achiziționare și monitorizare a valorilor umidității relative și temperaturii mediului de măsurare prezentată în Figura 2.

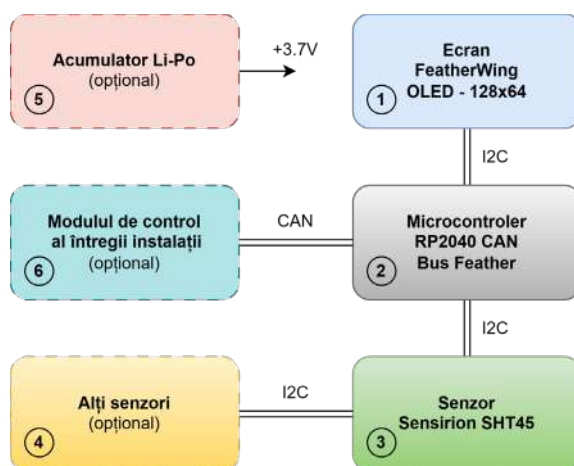


Figura 2. Diagrama conceptuală a modului de monitorizare a umidității relative și temperaturii mediului de măsurare, dar și de achiziționare a datelor în timp real.

1. *Ecran* – Ecranul utilizat este de tip FeatherWing OLED [13], cu rezoluția standard de 128 pe 64 pixeli și pe acesta se va afișa umiditatea relativa a aerului și temperatura din camera de măsurare.
2. *Microcontroler* – Pentru acest modul sunt utilizate plăcile de dezvoltare din seria Flybeear comercializate de către compania Adafruit. Microcontrolerul utilizat pe placa de bază este RP2040 CAN [15], care este același microprocesor utilizat pe plăcile de dezvoltare de prima generație RaspberryPi Pico. Placa de dezvoltare selectată este RP2040 CAN[15]. Această placă de dezvoltare are integrat și un microcircuit care face posibilă interacțiunea cu protocolul de comunicare CAN, utilizat pe larg în electronica industrială datorită caracteristicilor sale extraordinare.

3. *Senzor* – Senzor de umiditate relativă și temperatură de precizie înaltă de tip SHT45[12]. Diapazonul de măsurare a umidității relative este de la 2% la 98% cu pasul minim între valori echivalent cu 0.1%. Pentru temperatură, limitele de măsurare cuprind valori de la -40 la 125°C, cu pasul de 0.1°C. Scopul acestuia este de a determina umiditatea relativă în camera de măsurare. Senzorii de umiditate și temperatură se poziționează în imediata apropiere de proba studiată, respectiv condițiile de umiditate în care se află proba și senzorul sunt identice în camera de măsurare. La necesitate prin intermediul acestui senzor se poate determina și temperatura mediului din interiorul camerei de măsurare. Având la dispoziție acești 2 parametri se poate determina cantitatea de H₂O într-un metru cub de gaz, respectiv umiditatea absolută.
4. *Alți senzori* – La necesitate pot fi conectați și alți senzori, prin intermediul interfeței I2C (circuit inter-integrat), cum ar fi senzori de referință pentru diferite gaze, hidrogen, acetonă, dioxid de carbon și alții.
5. *Acumulator Li-Po* – va permite alimentarea electrică și portabilitatea acestui dispozitiv. Tensiunea necesară pe care acumulatorul trebuie să o livreze este de 3.7 V. Placa de control are posibilitatea de a încărca bateria cu un curent constant de 400 mA până la tensiunea de 4.2 V.
6. *Modulul de control al întregii instalații* – Va permite stabilirea unui control automat al instalației de măsurare. Acest modul va primi „feedback-ul” de la senzorul de umiditate și în calitate de actuator va fi un dispozitiv care va permite atât uscarea aerului cât și umidificarea acestuia în camera de măsurare.

Senzorul de umiditate SHT45 este un senzor capacitiv la care materialul dielectric este un polimer cu o structură poroasă. Molecule de apă din mediul ambiant ajung în structura poroasă a dielectricului modificând astfel permitivitatea relativă ϵ_r . Conform Formulei 1, se modifică capacitatea senzorului[16].

$$C = \frac{\epsilon A}{d} = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 A}{d} \quad (1)$$

Respectiv umiditatea relativă este raportată la capacitatea electrică (Formula 2). Această raportare este făcută de către senzor, care mai are integrat și un traductor de temperatură, după care sunt puse la dispoziție datele despre umiditatea relativă (RH) și temperatură prin intermediul interfeței I2C[16].

$$RH \propto C \propto \epsilon_r \quad (2)$$

Partea experimentală

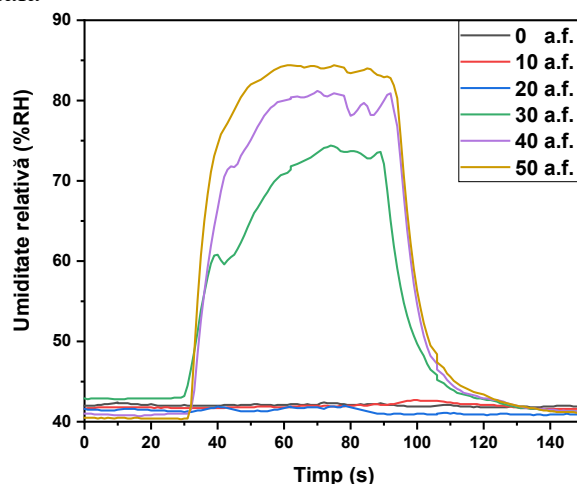


Figura 3. Răspunsul dinamic înregistrat de senzor la aplicația unui flux de aer cu vapori de apă obținuți printr-un circuit cu barbotare la diferite fluxuri de aer (a.f.)

În figura 3, poate fi observat răspunsul dinamic obținut în urma experiențelor la diferite nivele ale fluxului de aer cu vapori de apă. Umezirea aerului a avut loc datorită unui circuit cu barbotare. Unitățile de la 0 la 50 a.f. (flux de aer) reprezintă diviziunile la care a fost setat fluxul de aer, prin intermediul unui rotametrul a cărui valoare maximală permite trecerea unui flux de $0.1 \text{ m}^3/\text{h}$, iar setarea minimală nu mai mult de 20% din valoarea maximală, conform datelor tehnice a rotametrului PM-A-0.1 GUZ[17].

Conform răspunsurilor înregistrate, se observă că odată cu mărirea fluxului de aer (a.f.) cu vapori de apă, senzorul studiat oferă o detecție mai amănunțită începând cu 30 a.f. Respectiv, la fluxul de 30 a.f. atingem o valoare a umidității de $\sim 74\%$, la 40 a.f. – $\sim 80\%$ și la 50 a.f. de $\sim 84\%$. Luând valorile minime ale fluxului, observăm că de la 0 la 20 a.f. umiditatea aerului nu a cunoscut o schimbare majoră, atingând valori de $\sim 42.9\%$, ceea ce este foarte aproape de condițiile normale măsurate în laborator cu ajutorul unui termo-higro-barometru etalonat, model EXTECH SD700 [14], care a arătat umiditatea relativă în încăperea după o stabilizare de 10 minute egală cu 42% , temperatura aerului de 19°C și presiunea de 998 hPa .

Concluzii. În această lucrare este prezentată realizarea unui modul de feedback pentru monitorizarea și ajustarea aerului umed într-o cameră de testare a senzorilor. Principala problemă pe care aceasta o soluționează este repetabilitatea condițiilor de măsurare.

Modulul de monitorizare a umidității relative realizat permite monitorizarea și o eventuală setarea exactă a valorii exprimată în procente a umidității relative, ceea ce va permite verificare și posibil validarea rezultatelor pentru diferite condiții de medii, astfel oferind date exacte legate de funcționarea probelor sau a senzorilor studiați.

Mulțumiri. Autorii aduc sincere mulțumiri *Dr. hab., Prof. univ. Oleg Lupan* – șef Departament Microelectronică și Inginerie Biomedicală, pentru îndrumarea la studiile de doctorat. *Prof. Dr. rer. nat. Franz Faupel* – șef Departament Materiale Multicomponente, pentru stagiile de practică la Universitatea din Kiel, Germania, precum și directorului companiei de verificare a dispozitivelor medicale „AMS-2000” – *Ion Gînga*, pentru discuții și punerea la dispoziție a etalonului de verificare a condițiilor de mediu care a permis efectuarea testelor cu precizie înaltă validată.

Cercetările au fost susținute de Programul de Stat LIFETECH „Innovations in Biomedical Engineering: Advanced Technologies and Applications for Data Acquisition, Processing and Analysis” Nr. 020404 de la Universitatea Tehnică a Moldovei finanțat de către Ministerul Educației și Cercetării al Republicii Moldova.

Surse bibliografice:

1. SOPIHA, KV.; JAE-HUN K; SANG SUB K, PING W. „Gas sensing properties of standard soda-lime glass”. *Sensors and Actuators B: Chemical* [online]. 2018, 266, 344–353. ISSN 09254005. Available at: doi:10.1016/j.snb.2018.03.107
2. BRINZA, M; SCHWÄKE, L; ZIMMICH, L; STRUNSKUS, T; PAUPORTÉ, Th; VIANA, B; AMERI, T; ADELUNG, R; FAUPEL, F; SCHRÖDER, S; LUPAN, O. „Influence of P(V3D3-co-TFE) Copolymer Coverage on Hydrogen Detection Performance of a TiO₂ Sensor at Different Relative Humidity for Industrial and Biomedical Applications”. *Chemosensors* [online]. 2025, 13(4), 150. ISSN 2227-9040. Available at: doi:10.3390/chemosensors13040150
3. LUPAN, O; ABABII, N; MISHRA, AK; GRONENBERG, O; VAHL, A; SCHÜRMANN, U; DUPPEL, V; KRÜGER, H; CHOW, L; KIENLE, L; FAUPEL, F; ADELUNG, R; DE LEEUW, N.H.; HANSEN, S. „Single CuO/Cu₂O/Cu Microwire Covered by a Nanowire Network as a Gas Sensor for the Detection of Battery Hazards”. *ACS Applied Materials & Interfaces* [online]. 2020, 12(37), 42248–42263. ISSN 1944-8244. Available at: doi:10.1021/acsami.0c09879
4. POSTICA, V. “Proprietățile senzoriale ale structurilor hibride în bază de oxizi metalici și a rețelilor lor” Universitatea Tehnică a Moldovei; [online]. 2020 [accessed. 2025-05-29]. Available at: <https://repository.utm.md/handle/5014/8331>
5. LUPAN, O; ABABII, N; MISHRA, AK; BODDULURI, MT; MAGARIU, N; VAHL, A; KRÜGER, H; WAGNER, B; FAUPEL, F; ADELUNG, R; DE LEEUW, NH; HANSEN, S.

- „Heterostructure-based devices with enhanced humidity stability for H₂ gas sensing applications in breath tests and portable batteries”. *Sensors and Actuators A: Physical* [online]. 2021, 329, 112804. ISSN 09244247. Available at: doi:10.1016/j.sna.2021.112804
6. HELWIG, N; SCHÜLER, M; BUR, C; SCHÜTZE, A; SAUERWALD, T. „Gas mixing apparatus for automated gas sensor characterization”. *Measurement Science and Technology* [online]. 2014, 25(5), 055903. ISSN 0957-0233. Available at: doi:10.1088/0957-0233/25/5/055903
 7. BIADASZ, A; KOTKOWIAK, M; ŁUKAWSKI, D; JADWIŻAK, J; RYTEL, K; KĘDZIERSKI, K. „A versatile gas transmission device with precise humidity control for QCM humidity sensor characterizations”. *Measurement* [online]. 2022, 200, 111674. ISSN 02632241. Available at: doi:10.1016/j.measurement.2022.111674
 8. EDER, E; PREISSINGER, M. „Experimental analysis of the humidification of air in bubble columns for thermal water treatment systems”. *Experimental Thermal and Fluid Science* [online]. 2020, 115, 110063. ISSN 08941777. Available at: doi:10.1016/j.expthermflusci.2020.110063
 9. Online Interactive Psychrometric Chart [online]. [accessed. 2025-05-28]. Available at: <https://www.flycarpet.net/en/psyonline>
 10. LUPAN, O; BRINZA, M; SCHRÖDER, S; ABABII, N; STRUNSKUS, T; VIANA, B; PAUPOURÉ, Th; ADELUNG, R; FAUPEL, F. „Sensors Based on Hybrid Materials for Environmental, Industrial and Biomedical Applications”. In: 2024 IEEE 14th International Conference Nanomaterials: Applications & Properties (NAP) [online]. B.m.: IEEE, 2024, p. 1–4. ISBN 979-8-3503-8012-5. Available at: doi:10.1109/NAP62956.2024.10739678
 11. SCHRÖDER, S; BRINZA, M; CRETU, V; ZIMOCH, L; GRONENBERG, M; ABABII, N; RAILEAN, S; STRUNSKUS, T; PAUPOURÉ, Th; ADELUNG, R; FAUPEL, F; LUPAN, O. „A New Approach in Detection of Biomarker 2-propanol with PTFE-Coated TiO₂ Nanostructured Films”. In: [online]. 2024, p. 75–83. Available at: doi:10.1007/978-3-031-42782-4_9
 12. SHT45 - $\pm 1.0\%$ RH / $\pm 0.1^\circ\text{C}$ Digital humidity and temperature sensor [online]. [accessed. 2025-05-28]. Available at: <https://sensirion.com/products/catalog/SHT45>
 13. Overview | Adafruit 128x64 OLED FeatherWing | Adafruit Learning System [online]. [accessed. 2025-05-28]. Available at: <https://learn.adafruit.com/adafruit-128x64-oled-featherwing/overview>
 14. Extech SD700: Barometric Pressure/Humidity/Temperature Datalogger | Teledyne FLIR [online]. [accessed. 2025-05-28]. Available at: <https://www.flir.eu/products/sd700/?vertical=condition+monitoring&segment=solutions>
 15. Overview | Adafruit RP2040 CAN Bus Feather | Adafruit Learning System [online]. [accessed. 2025-05-28]. Available at: <https://learn.adafruit.com/adafruit-rp2040-can-bus-feather/overview>
 16. Using the Integrated Heater of SHT4x for Heat-Assisted Polymer Decontamination. no date. [accessed. 2025-05-28]. Available at: <https://sensirion.com/products/catalog/SHT45>.
 17. Ротаметр РМ-А-0.1 ГУЗ - ПриборМаркет [online]. [accessed. 2025-05-28]. Available at: https://www.priormarket.ru/catalog/%D0%A0%D0%9C-%D0%90-0.1_%D0%93%D0%A3%D0%97

ACCURATE ACQUISITION OF ANALOG SIGNALS IN POWER ELECTRONICS: TECHNIQUES, ERRORS, AND PRACTICAL SOLUTIONS

Sergiu PASCARI^{1*}, Nicolae RUSU¹, Maxim CHIRIAC²,

¹Department of Microelectronics and Biomedical Engineering, Group -MN241M, Faculty of Computers, Informatics and Microelectronics, Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova

²Department of Microelectronics and Biomedical Engineering, Center for Nanotechnology and Nanosensors, Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova

Scientific coordinator: **Nicolai ABABII**, PhD, Associate Professor, Center for Nanotechnologies and Nanosensors, Department of Microelectronics and Biomedical Engineering, Faculty of Computers, Informatics and Microelectronics, Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova;

Serghei RAILEAN, PhD, Associate Professor, Center for Nanotechnologies and Nanosensors, Department of Microelectronics and Biomedical Engineering, Faculty of Computers, Informatics and Microelectronics, Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova.

Abstract. *Accurate acquisition of analog signals in power electronic circuits is essential for the precise characterization of switching transistors and for validating the operation of power converters. This paper aims to highlight the challenges and best practices associated with the use of oscilloscope probes in the context of measuring parameters such as switching times, transient overvoltages, and load current. Passive, differential, and current probes are comparatively analyzed, with an emphasis on their influence on the measured signal and on typical errors caused by improper connections, ground loops, and EMI interference. The paper proposes practical solutions for achieving high signal fidelity, tailored to the specific demands of power electronics. The novelty of the work lies in the integrated approach to measurement techniques and in the formulation of a set of practical recommendations for engineers involved in testing and developing switching circuits.*

Keywords: *electrical measurements, analog signals, oscilloscope probes, power transistors, ground loops, switching electronics*

Introduction

The oscilloscope is an essential instrument in electronics and research, enabling detailed signal analysis. The earliest invention by Ferdinand Braun was the cathode ray tube (CRT) oscillograph in 1897 [1]. Accurate acquisition of analog signals is a critical step in the analysis and development of power electronics circuits. Precise measurements enable the faithful characterization of power transistors and the validation of converter operation, which are essential for performance optimization and increased reliability. However, the complexity of switching signals and the particularities of the measurement environment pose major challenges related to the proper selection and use of oscilloscope probes. This paper highlighted the main challenges in the accurate acquisition of analog signals in power electronics circuits. Improper probe selection and inadequate connections often lead to significant measurement errors, such as waveform distortion, inaccurate switching time readings, and electromagnetic interference.

A clear understanding of the differences between passive, differential, current, and active probes allows engineers to choose the optimal solution for each specific application.

By applying practical techniques such as minimizing ground loops, using short loop areas, and matching the probe's bandwidth to the signal measurement fidelity and reliability can be significantly improved. Accurate signal acquisition is not just a matter of precision; it is a

fundamental requirement for the validation, optimization, and safe operation of modern power converters.

Importance of Proper Probing

Accurate signal acquisition is essential in the analysis of power electronic circuits. The choice of the appropriate probe and the correct implementation of connections can make the difference between a valid measurement and a misleading one. Key parameters such as switching times, transient overvoltages, and switching losses are highly sensitive to the quality of the acquired signal. In the following sections, we will examine the main types of probes used in power electronics measurements and their role in ensuring signal fidelity.

Passive Probes.

Passive probes (see Figure 1) are the most common and affordable type of oscilloscope probes. They use internal resistors and capacitors to achieve attenuation (e.g., 10:1) and are well-suited for low-frequency signals or general-purpose testing. However, in power electronics applications, passive probes can introduce significant measurement errors at high frequencies due to parasitic capacitance and the length of the ground lead, which can create noise-sensitive loops. They are also highly sensitive to improper positioning and are not suitable for measuring “floating” signals.



Figure 1. Image of a passive oscilloscope probe

Figure 2 illustrates two connection methods for using a passive probe to measure the gate signal of a MOSFET: one with a long ground wire and another with a short ground lead. This schematic representation demonstrates how the long ground wire introduces significant ringing and waveform distortion, leading to inaccurate signal acquisition.

Figure 3 shows a real oscilloscope screen capture of the gate signal from a SiC MOSFET, measured using a passive probe with a long ground wire. The waveform shows a peak-to-peak voltage of 139.20 V — a highly unrealistic value caused by oscillations and measurement errors due to improper grounding. This clearly highlights the importance of correct probe connection techniques when measuring high-speed signals in power electronics.

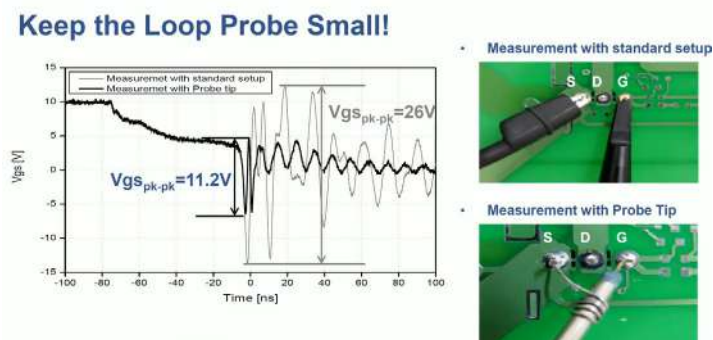


Figure 2. Signal comparison with long vs. short oscilloscope ground lead



Figura 3. Imaginea unui semnal captat cu osciloscopul de pe grila unui mosfet de tip SIC

Active Probes

Active probes are essential tools in modern power electronics measurements, particularly when dealing with high-speed switching circuits. These probes incorporate built-in amplifiers that provide a very high input impedance and extremely low parasitic capacitance. This allows them to capture high-frequency signals with excellent fidelity without significantly loading the measurement point. As a result, active probes are ideal for observing fast switching transitions, analyzing gate driver control signals, and probing nodes in high-impedance or noisy environments.

Despite their performance advantages, active probes come with certain trade-offs. They tend to be more expensive than passive probes and often require external power supplies or specialized interface modules for proper operation. Nonetheless, for accurate signal acquisition in high-speed applications, especially when signal integrity is critical, the benefits of active probes often outweigh their limitations.

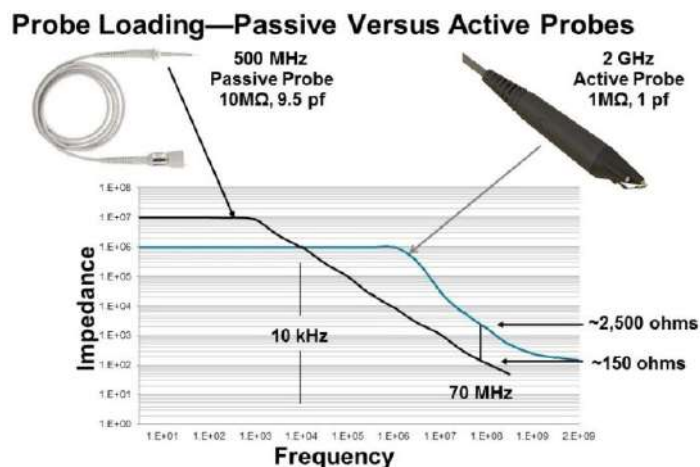


Figura 4. Difference in loading effect between passive probe

Figure 4 illustrates the difference in loading effect between a 500 MHz passive probe and a 2 GHz active probe. The graph shows the input impedance as a function of frequency for both probes. The passive probe, characterized by 10 MΩ and 9.5 pF, begins to significantly load the circuit above 10 kHz, with its impedance dropping to around 150 ohms at 70 MHz. In contrast, the active probe, with 1 MΩ and only 1 pF, maintains a much higher impedance of

approximately 2,500 ohms at the same frequency. This comparison clearly demonstrates the superior performance of active probes in high-frequency applications, where minimizing probe loading is essential for accurate and reliable signal acquisition.

Differential Probes

[2] High voltage differential probes are essential devices for voltage measurements in power electronics. Since power electronics use fast-switching pulse-width modulation (PWM) techniques, the voltage signals contain a low frequency fundamental wave as well as a high frequency PWM carrier and intermodulation components. To precisely measure all signal components a probe with flat passband frequency response is necessary; in the case of power electronics the frequency band ranges from dc up to several megahertz.

Differential probes enable accurate measurement of signals between two points at different potentials, such as the drain-source voltage (VDS) or signals present on the high-side switch of an inverter. These probes offer galvanic isolation from ground and are essential for capturing high-fidelity waveforms, especially in circuits where significant common-mode voltages exist that can distort readings or even damage standard grounded probes.

Although more expensive than traditional passive or active single-ended probes, differential probes are indispensable tools when analyzing fast switching transients, short-circuit behavior, or when monitoring signals in floating nodes of power electronic systems.

In Figure 1, a high-voltage differential probe is shown, emphasizing its input configuration and electrical isolation barrier, which ensures both accurate and safe signal capture in high-voltage domains.

Figure 2 illustrates several examples of differential signal sources, including a disk read head, a BJT-based amplifier stage, and a three-phase transformer. These examples highlight typical scenarios where signals are floating relative to ground and where the voltage of interest exists between two non-ground-referenced nodes. Such configurations are common not only in measurement and communication systems, but also in power electronics, justifying the necessity of using differential probes for signal acquisition in these cases.



Figura 5. Acesta este un exemplu de figură [3]

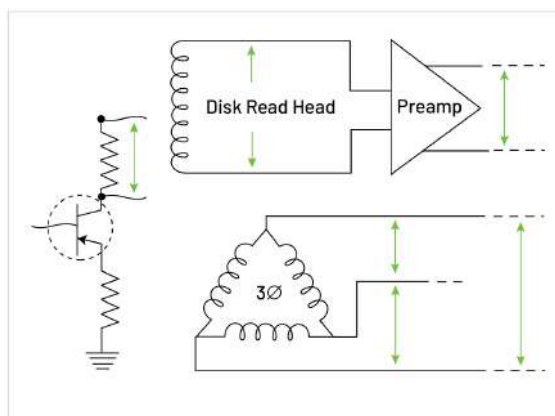


Figura 6. Some examples of differential signal sources.

Current Probes

In power electronics, accurate current measurement is fundamental for analyzing system performance, detecting faults, and improving control strategies. Current probes are non-intrusive tools that enable real-time monitoring of current waveforms without requiring direct electrical contact. These probes typically operate based on two main principles: the **current transformer effect** and the **Hall effect**.

Figure 7 shows a clamp-type current probe, which allows easy attachment around a conductor for quick, non-invasive current measurements. Such probes are often used in field diagnostics and system monitoring due to their portability and ease of use.

Figure 8 illustrates two fundamental types of current probes suitable for oscilloscope-based measurements:

- **(a)** a current transformer-based probe, which operates on electromagnetic induction. It is suitable for measuring AC currents at high frequencies with minimal insertion loss. The probe contains a secondary winding and resistive load that converts the induced current into a measurable voltage.
- **(b)** a Hall effect-based probe, which is capable of measuring both AC and DC currents. This type utilizes a magnetic sensor that outputs a voltage proportional to the magnetic field generated by the current-carrying conductor. The circuit includes signal conditioning electronics to provide isolated and amplified output.

These probe types are critical for applications such as evaluating power losses in switching converters, analyzing transient behavior, or detecting overcurrent and fault conditions. For high-fidelity measurements, it is essential that the chosen probe has adequate bandwidth to capture high-frequency components associated with fast-switching devices (e.g., SiC or GaN transistors).

However, challenges such as phase shift, limited bandwidth, saturation effects (in current transformers), or thermal drift (in Hall sensors) can introduce measurement errors. To mitigate these, the following practical solutions are recommended:

- Use **calibrated probes** and account for phase compensation in measurement software.
- Ensure **shielded and low-inductance probe connections** to reduce noise pickup.
- Choose probes with **sufficient frequency response** relative to the switching frequency of the power converter.

By understanding the operating principles and limitations of each probe type, designers can select the optimal solution for accurate analog signal acquisition in power electronics systems.



Figure 7. Image of a current clamp probe.

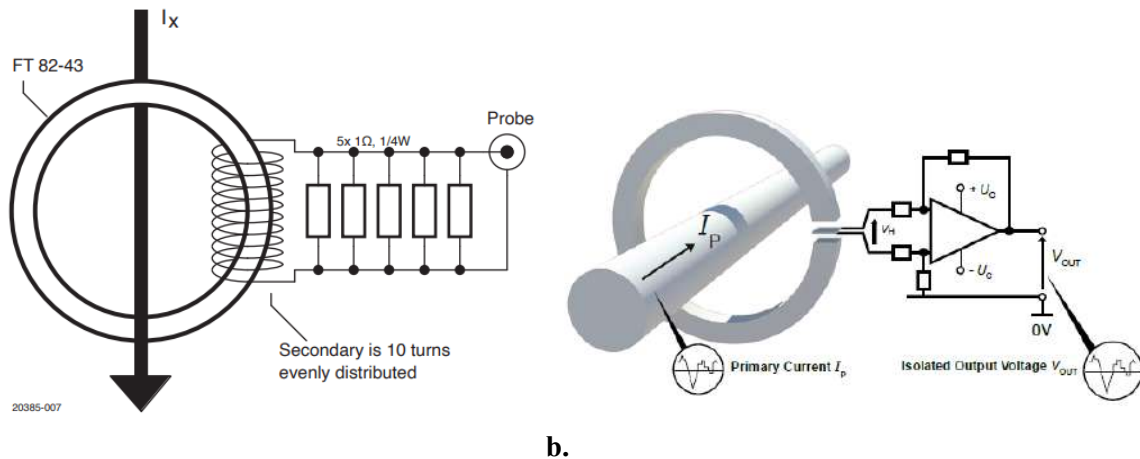


Figure 8. (a) Current probe based on a current transformer; (b) Current probe based on a Hall sensor.

Conclusions

Accurate signal measurement is essential in power electronics, and selecting the right probe—passive, active, differential, or current—is critical. Each type has specific advantages: passive probes are simple and versatile, active probes offer high bandwidth and low loading, differential probes ensure safe and precise measurements between non-grounded points, and current probes allow non-intrusive current monitoring. Understanding their roles and limitations enables more reliable testing, leading to better design and system performance.

Thanks. This work was funded by the state program LIFETECH (020404) of the Technical University of Moldova, with the support of the Ministry of Education and Research of the Republic of Moldova.

References

1. NAJJAR, H.; NAJJAR, H. K. WaveSense: Smart Oscilloscope System and Framework. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/383384779>
2. Grubmueller, M.; Neumayer, M. Passband frequency response measurement of a high voltage differential probe up to 10 MHz. in I2MTC 2019 - 2019 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference, Proceedings, May 2019. doi: 10.1109/I2MTC.2019.8827019.
3. ABCs of Probes PRIMER. Accessed: May 25, 2025. [Online]. Available: <https://download.tek.com/document/ABCs-of-Probes-Primer-60W-6053-17.pdf>

DEVELOPMENT OF THE ENERGY CONSUMPTION MONITORING SYSTEM WITH REMOTE CONTROL

Alexandru RAILEAN, Andrian CHEPTENE,

¹ Technical University of Moldova, Faculty of Computers Informatics and Microelectronics,
Department of Microelectronics and Biomedical Engineering, group MN-221, Chişinău, Republic of Moldova

* Corresponding author: Cheptene Andrian, andrian.cheptene@mib.utm.md

Scientific mentor/coordinator **Maxim CHIRIAC**, Adjunct professor, Nanotechnologies and Nanosensors Center, Department of Microelectronics and Biomedical Engineering, Faculty of Computers Informatics and Microelectronics, Technical University of Moldova, Chişinău, Republic of Moldova

Abstract. Before you design a new home or remodel an existing one, consider investing in energy efficiency. You'll save energy and money, and your home will be more comfortable and durable. The planning process is also a good time to look into a renewable energy system that can provide electricity, water heating, or space heating and cooling. The aim of this study was to develop an energy consumption monitoring system with remote control. Nowadays, at home and at work, we use many electronic devices that are AC-powered. We need an easy way to monitor energy consumption and devices powered by wall outlets. In an existing house, the first step is to conduct a home energy assessment (sometimes referred to as an energy audit) to find out how the home uses energy and determine the best ways to reduce energy use and costs. For this purpose, we will develop a modular device for monitoring home consumption and controlling the outlet. This module is designed to be integrated into existing outlets to add monitoring and control functionality for any device in the house. For a better user experience, the main dashboard where detailed information about the status, energy consumption, and connectivity of each connected device will be displayed will be implemented in a user-friendly phone application, allowing users to easily monitor and control and monitor their devices remotely.

Keywords: energy, consumption, devices, remote, control, outlet, dashboard, application.

Introduction

The cost of electricity is rising across the country, which means that reducing your energy consumption now can save you more money than ever. If you're looking to reduce your electric bill as prices increase, it's worth considering a home energy monitor system. Let's say you want to cut your energy use to save money or reduce your carbon footprint. You'll have to cut down on your electricity consumption, but how do you know which devices in your home are the heaviest users and when they cost the most money to run? Energy monitors help by eliminating this guessing game. We know already that living in energy efficient homes can save us money. But what sort of impact on the environment does an efficient home have? The short answer: a big one.[1] One of the most pressing concerns is the overwhelming reliance on fossil fuels, such as coal, oil, and natural gas, to meet global energy demands. Fossil fuels account for 75% of all greenhouse gas emissions globally. Burning these fossil fuels releases massive quantities of carbon dioxide and methane into the atmosphere.[2] Consequently the main question is: „How to monitor your home energy consumption?”. The more information you have about your home energy consumption, the more informed you can be. These insights are potent triggers for you to initiate behavioral changes and adopt measures to help you become more energy efficient. You may want to monitor your home energy consumption to track your utility bills. Our solution for home energy monitors also lets you track the cost of your power consumption in real time. For instance, you can program monitors with built-in timers to power off devices after running for

some time or at specific times of the day. Or you can program your energy monitor to power off select appliances—by just tapping on your phone screen—when you leave home. For this solution, communication between the module we use NodeMCU with wi-fi module. NodeMCU is an open-source Lua based firmware for the ESP32 Wi-Fi SOC's from Espressif. It uses an on-module flash-based SPIFFS file system. NodeMCU is implemented in C and the ESP8266 version is layered on the Espressif NON-OS SDK. [3] NodeMCU board will receive data from multiple boards via ESP-NOW communication protocol (many to one configuration). This configuration is ideal if you want to collect data from several sensors' nodes into one board. [4] For communication between mobile application and NodeMCU request. At a high level, you use Volley by creating a RequestQueue and passing it Request objects. The RequestQueue manages worker threads for running the network operations, reading from, and writing to the cache, and parsing responses. Requests do the parsing of raw responses and Volley takes care of dispatching the parsed response back to the main thread for delivery. [5]

Technical part

Conceptual scheme of the proposed system architecture is shown in Fig. 1. The system supports both local and remote interaction through two distinct user interfaces: the Electronic User Interface (EUI) and the Virtual User Interface (VUI). The EUI is connected directly to the Master board and includes a display module and a set menu, enabling users to view system status and configure settings manually. The VUI enables remote access, likely via a mobile application, allowing users to control and monitor the system from anywhere. The architecture is designed for scalability, as it allows the addition of multiple Slave boards (from No. 1 to No. N) without altering the core structure. Each Slave operates independently but synchronizes with the Master board, enabling parallel monitoring and control across different zones or devices in the home.

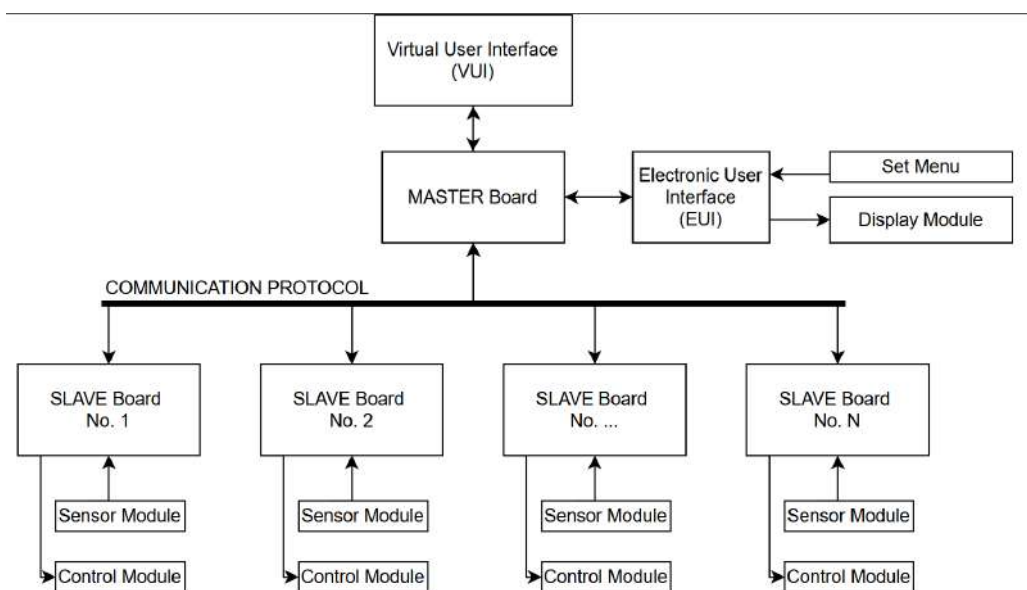


Figure 1. Conceptual scheme of the system

The concept of this solution is to provide the user with a scalable and flexible method to monitor and control energy consumption in real time. To achieve this, we use NodeMCU boards[3], which are low-cost, Wi-Fi-enabled microcontroller platforms based on the ESP8266 or ESP32 chipsets. One board is configured as the Master, responsible for collecting data from multiple sensor nodes. These nodes are also NodeMCU boards, each installed in different locations or connected to various appliances. Data is transmitted from the nodes to the Master board using the ESP-NOW communication protocol[4], which supports a many-to-one configuration(Fig. 2). This setup allows multiple devices to send information wirelessly and

efficiently to a central controller without relying on a Wi-Fi network, making the system both robust and suitable for deployment in existing homes with minimal infrastructure changes.

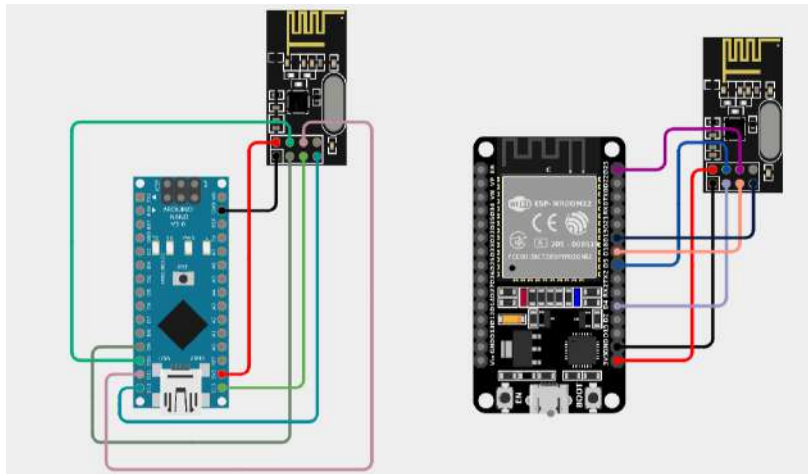


Figure 2. ESP32 board to receive data from multiple arduino nano boards via nrf (SPI) communication protocol

In figure 2 is represented the basic mechanism that allows this device to work, how the Master (ESP32) receive data from Slave (Arduino NANO). This communication allow you to communicate between module in a range of 100 meters.

Graphical schematic of the control module is presented in Figure 4. It shows the connection between a NodeMCU board and a relay module, labeled as "Control M." The relay module acts as a switching interface that allows the microcontroller to control high-voltage AC-powered devices by turning them on or off. The NodeMCU sends digital control signals to the relay, which isolates and manages the switching operation. This setup is essential for enabling remote or automated control of electrical appliances within the system.

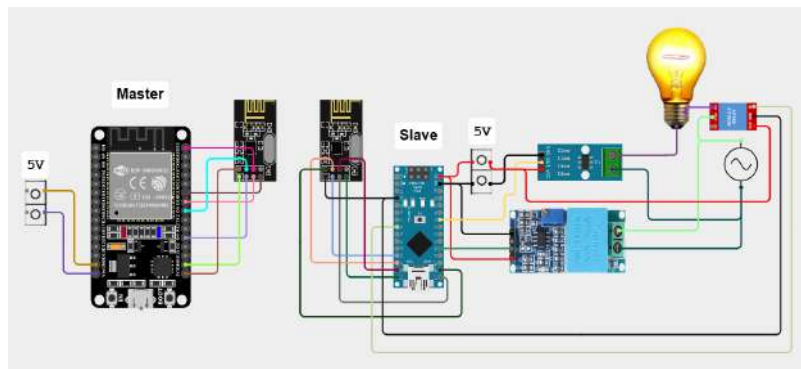


Figure 4. Control module graphical schematic

Advantages:

1. Real-Time Monitoring
 - Immediate feedback on energy consumption.
 - Enables users to identify high-consumption appliances or patterns.
 - Facilitates data-driven decisions on energy usage.
2. Wireless Communication (nRF24L01)
 - Reduces wiring complexity in multi-point monitoring setups.
 - Ideal for distributed monitoring across multiple rooms or floors.
 - nRF modules are low power and work well in mesh or star networks.
3. Centralized Control and Data Logging (ESP32)

- ESP32 can act as a central hub or gateway to collect data from multiple Arduino nodes.
- Integrated Wi-Fi and Bluetooth allow remote access, mobile alerts, or cloud integration (e.g., Firebase, Blynk, ThingsBoard).
- Local storage (via SD card) or remote database support for long-term trend analysis.

Conclusions

In conclusion, the proposed energy monitoring and control system provides a scalable and efficient solution for managing household electricity usage. By utilizing NodeMCU boards and the ESP-NOW communication protocol, the system enables reliable data transmission between multiple sensor nodes and a central master controller without relying on an external Wi-Fi network. The modular architecture, as illustrated in the conceptual scheme, allows for easy integration into existing home electrical setups. Both local and remote control interfaces—through the Electronic User Interface (EUI) and the Virtual User Interface (VUI)—enhance user interaction and accessibility. The control module, consisting of a NodeMCU board and relay, enables remote switching of connected devices, supporting automated or user-triggered actions. Overall, the system empowers users with real-time insights into their energy consumption and gives them the tools to take actionable steps toward energy efficiency and cost reduction.

Thanks. Railean Alexandru and Cheptene Andrian are grateful to the Technical University of Moldova.

References

1. Benefyd, How Energy Efficient Homes Impact the Environment. Available: <https://www.benefyd.com/how-energy-efficient-homes-impact-the-environment/>
2. Unsustainable, Are Energy-Efficient Homes Enough to Reduce Climate Change? Available: https://www.unsustainablemagazine.com/energy-efficient-homes-and-climate/#How_Does_Energy_Consumption_Affect_the_Environment
3. Nodemcu read the docs, NodeMCU Documentation. Available: <https://nodemcu.readthedocs.io/en/release/>
4. Random nerd tutorials, ESP-NOW with ESP8266: Receive Data from Multiple Boards (many to one). Available: <https://randomnerdtutorials.com/esp-now-many-to-one-esp8266-nodemcu/>
5. Volley, GitHub, Send a simple request. Available: <https://nodemcu.readthedocs.io/en/release/> <https://google.github.io/volley/simple>

INFLUENȚA TRATAMENTULUI TERMIC ASUPRA FORMĂRII ȘI PROPRIETĂȚILOR STRATURILOR DE OXID DE FIER OBTINUTE PE FOLII DE FIER

Valentin SACA¹, Simon BUSUIOC^{2*}

¹Centrul Național de Studiu și Testare a Materialelor, Departamentul de Microelectronică și Inginerie Biomedicală, student gr. MN- 211, Facultatea Calculatoare, Informatică și Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

²Centrul Național de Studiu și Testare a Materialelor, doctorand an. 1, Școala Doctorală UTM, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

*Autorul corespondent: Simon Busuioc simon.busuioc@cnstm.utm.md

Coordonatorul științific **Eduard MONAICO**, dr. hab., conf. cercet., Centrul Național de Studiu și Testare a Materialelor, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

Rezumat. *Lucrarea are ca scop investigarea procesului de formare a oxidului de fier pe suprafața foliilor metalice prin tratament termic controlat, cu accent pe dezvoltarea nanostructurilor cu potențial aplicativ ridicat. Alegerea acestui subiect este motivată de interesul actual pentru nanomateriale funcționale pe bază de oxid de fier, datorită versatilității lor în domenii precum cataliza, tratarea apelor, stocarea energiei sau dezvoltarea senzorilor electrochimici. În cadrul studiului, foliile de fier au fost supuse procesului de oxidare termică la diferite temperaturi, pentru a observa modul în care condițiile de tratament influențează formarea și evoluția straturilor de oxid. Probele tratate au fost ulterior caracterizate morfologic prin microscopie electronică, evidențiindu-se apariția unor nanostructuri de tip nanofrunze și nanotije. Compoziția chimică a suprafeței oxidate a fost determinată prin analiză energiei razelor X dispersate, iar distribuția elementară a confirmat prezența fazelor oxidice așteptate. Pentru evaluarea modificărilor de suprafață, au fost realizate măsurători ale unghiului de contact, indicând o variație a hidrofilității. În plus, s-au efectuat teste electrochimice pentru aprecierea comportamentului funcțional al straturilor oxidate. Datele obținute evidențiază faptul că parametrii tratamentului termic, în special temperatura și timpul de expunere, au un impact semnificativ asupra morfologiei și caracteristicilor finale ale materialului. Această cercetare aduce o contribuție importantă la aprofundarea mecanismelor de oxidare termică și sprijină optimizarea proceselor de fabricare a nanostructurilor cu potențial în aplicații avansate în ingineria materialelor.*

Cuvinte cheie: *oxidare termică, nanofrunze, morfologie de suprafață, unghi de contact, analiză electrochimică, oxid de fier.*

Introducere

În ultimii ani, nanomaterialele pe bază de oxid de fier au atras un interes crescut datorită proprietăților lor remarcabile și versatilității în multiple domenii de aplicabilitate, precum cataliza [1], tratarea apelor [2], stocarea energiei [3] și dezvoltarea senzorilor electrochimici [4]. Datorită posibilității de a controla structura și compoziția acestor materiale la scară nanometrică, cercetarea în direcția optimizării metodelor de sinteză a devenit o prioritate în ingineria materialelor [5]. Una dintre metodele promițătoare pentru obținerea straturilor oxidice cu morfologii avansate este oxidarea termică controlată a foliilor metalice. Prin ajustarea atentă a parametrilor de proces – în special a temperaturii și duratei tratamentului – se pot forma nanostructuri specifice, cum ar fi nanofrunzele sau nanotije, ale căror proprietăți pot fi adaptate aplicației vizate [6].

Această lucrare se concentrează asupra procesului de formare a oxidului de fier pe suprafața foliilor metalice prin tratamente termice variate, cu scopul de a înțelege modul în care condițiile experimentale influențează morfologia de suprafață și compoziția chimică a produselor de oxidare. Caracterizarea detaliată a straturilor obținute, realizată prin microscopie electronică, analiză energiei razelor X dispersate (EDX), măsurători ale unghiului de contact și investigații electrochimice, permite o evaluare complexă a comportamentului materialelor oxidate, atât din punct de vedere structural, cât și funcțional. Prin urmare, această cercetare contribuie la o mai bună înțelegere a fenomenelor implicate în oxidarea termică și oferă informații utile pentru optimizarea proceselor tehnologice destinate fabricării de nanomateriale avansate.

Materiale si tehnici experimentale

Pentru desfășurarea tuturor analizelor experimentale, au fost utilizate mostre din foi de fier cu o grosime de 0,2 mm. Acestea au fost decupate în dimensiuni de $0,5 \times 1,0$ cm, folosind un dispozitiv de tăiere tip ghilotină. Înainte de etapa de tratament termic, mostrele au fost supuse unui proces de curățare secvențială în acetonă și ulterior în etanol, fiecare timp de 10 minute, utilizând o baie ultrasonică, pentru îndepărtarea impurităților organice de pe suprafață.

Tratamentul termic s-a realizat într-un cuptor închis, în intervalul de temperatură 400–800 °C, timp de 30 sau 60 de minute, în funcție de protocolul stabilit [7]. Răcirea ulterioară a probelor s-a efectuat lent, pentru a evita generarea de defecte structurale la suprafață.

Caracterizarea morfologică și analiza compozițională a straturilor formate au fost realizate cu ajutorul unui microscop electronic de scanare (Tescan VEGA 51300 MM), echipat cu detector EDX pentru analiza elementară.

Proprietățile electrochimice ale mostrelor tratate au fost evaluate prin voltametrie ciclică (CV), spectroscopie de impedanță electrochimică (EIS) și măsurători ale unghiului de contact. Investigațiile au fost realizate folosind un potențiostat Gill AC (ACM Instruments, Marea Britanie), operat prin intermediul software-ului ACM versiunea 5.1.4. Configurația electrochimică a fost de tip clasic, cu trei electrozi: electrod de lucru – proba metalică, electrod de referință – Ag/AgCl 3M saturat în soluție de KCl 3,5 M și electrod auxiliar – fir de platină.

Metodologia electrochimică a presupus utilizarea unor soluții apoase de NaOH în trei concentrații diferite: 0,05 M, 0,1 M și 0,5 M. Experimentele de voltametrie ciclică (CV) au fost realizate la o rată de scanare de 15 mV/s, într-un interval de potențial de la -0,8 V la +0,8 V, cu referire la electrodul de referință. Fiecare set de măsurători a fost efectuat de trei ori pentru a asigura consistența rezultatelor. Spectroscopia de impedanță electrochimică (EIS) a fost interpretată cu ajutorul modelelor de circuite echivalente. Pentru a garanta o bună conductivitate electrică în timpul testărilor, suprafața de contact a probelor a fost șlefuită mecanic, înlăturând stratul oxidat și expunând substratul metalic.

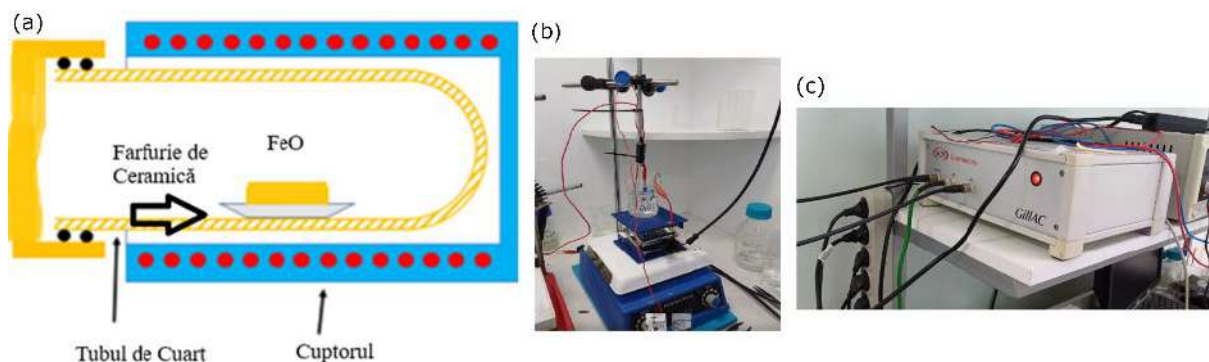


Figura 1. (a) Schema cuptorului pentru tratament termic, (b) Celula electrochimică, (c) Potențiostatul utilizat pentru efectuarea investigațiilor

Pentru evaluarea caracterului hidrofob al suprafeței, s-au realizat măsurători ale unghiului de contact utilizând un sistem de tip DSA25. Pe fiecare probă a fost depusă o picătură de apă distilată cu un volum de 3 μL , iar forma acesteia a fost înregistrată imediat după aplicare. Determinarea valorilor unghiului de contact s-a efectuat cu ajutorul unui software specializat. Toate măsurătorile au fost realizate la temperatura camerei ($T = 23^\circ\text{C}$), conform metodologiei detaliate în [8].

Rezultate și discuții

Morfologia și compoziția chimică ale oxizilor de fier sintetizați la 400°C și 800°C au fost investigate SEM și EDX. Imaginea SEM a probei obținute la 400°C evidențiază o suprafață uniformă, poroasă, cu o textură fină, specifică formării unor particule de dimensiuni reduse și unui grad scăzut de sinterizare. În schimb, proba tratată termic la 800°C prezintă o morfologie mult mai densă, determinată de energia termică mai ridicată [9].

Analiza EDX reflectă modificări ale compoziției chimice în funcție de temperatura de sinteză. Proba obținută în urma tratamentului la 400°C conține 32,24% în greutate oxigen (62,42% atomice) și 67,76% în greutate fier (37,58% atomice), ceea ce sugerează o suprafață mai bogată în oxigen, posibil asociată cu formarea unor faze oxidice mai amorfe sau mai oxidate. La temperatura de 800°C , conținutul de oxigen scade ușor la 30,36% (60,34% atomice), în timp ce fierul crește la 69,64% (39,66% atomice). Această variație poate indica o tranziție structurală către faze mai cristaline sau parțial reduse, precum conversia Fe_2O_3 în Fe_3O_4 , corelată cu morfologia observată. Prin urmare, creșterea temperaturii de sinteză influențează atât microstructura, cât și stoechiometria oxidului de fier rezultat, aspecte esențiale pentru reglarea proprietăților fizico-chimice ale materialului și adaptarea sa la aplicații specifice.

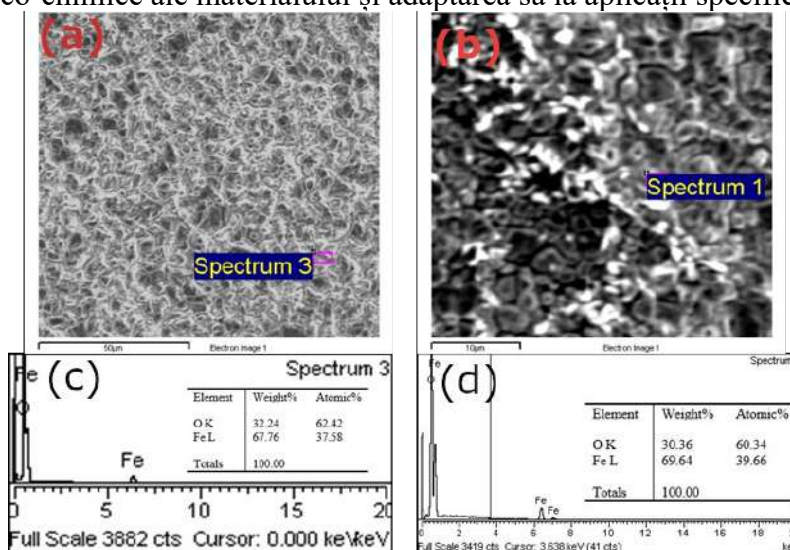


Figura 2. Studiul morfologiei și compoziției chimice a probelor de Fe tratate termic la temperatura de: 400°C în (a), (c) și 800°C în (b), (d)

Investigarea a fost efectuată pe folii de fier tratate termic la temperatura de 400°C , 600°C și 800°C timp de 1 ora. În timpul măsurărilor electrochimice, oxidul de pe probe s-a dizolvat rapid și nu s-a reușit de obținut un set complet de măsurări. Din cauza valorii ridicate a potențialului de repaus (Rest potential), s-a decis de a micșora timpul de tratare termică pentru a obține un strat de oxid mai subțire. Astfel următorul set de probe au fost tratate la 400°C , 500°C și 600°C timp de 30 min. S-a evitat tratarea termică la 800°C deoarece timpul de încălzire și răcire treptată este cu mult mai lung. În timpul măsurărilor electrochimice, doar oxidul de pe proba tratată la 500°C timp de 30 minute nu s-a dizolvat.

Proba de fier supusă unui tratament termic la 500 °C timp de 30 de minute a fost analizată electrochimic prin voltametrie ciclică în medii cu pH diferit (alcalin – pH=13 și neutru – pH=7), folosind soluții tampon de NaOH cu concentrații diferite (0,05 M, 0,1 M și 0,5 M). Pentru proba investigată în electrolit cu pH=13, curbele înregistrate indică o activitate electrochimică slabă, curentul atingând valori negative moderate, în jur de $-0,35 \text{ mA/cm}^2$. Forma curbelor este asemănătoare pentru toate concentrațiile de electrolit, însă intensitatea curentului crește odată cu concentrația, sugerând o ușoară dependență față de forța ionică a mediului, fără a evidenția însă procese redox semnificative.

A fost demonstrat că pentru electrolitul cu pH=7, comportamentul electrochimic al probei se modifică considerabil. Se observă apariția unor vârfuri redox bine conturate și o creștere accentuată a curentului anodic, mai ales în soluția de 0,5 M NaOH, unde se atinge o valoare de peste 7 mA/cm^2 . Acest comportament sugerează o cinetică mult mai favorabilă a reacțiilor redox în condiții neutre, probabil ca urmare a unei interacțiuni mai eficiente între suprafața oxidată a fierului și speciile reactive din soluție. Diferențele de intensitate și poziționare a vârfurilor în funcție de concentrația de NaOH indică o influență directă a compoziției mediului asupra mecanismelor de transfer de sarcină la interfața electrod-electrolit.

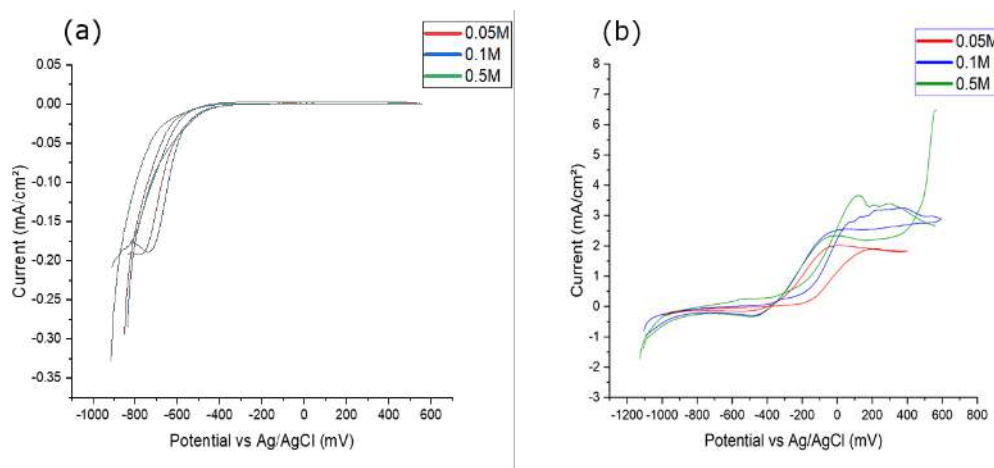


Figura 3. (a) Voltametrie ciclică (în buffer de NaOH la diferite molarități, cu pH de 13) a probei de Fe tratată termic la 500 °C timp de 30 min. (b) Voltametrie ciclică (în buffer de NaOH la diferite molarități, cu pH de 7) a probei de Fe tratată termic la 500 °C timp de 30 min

Unghiul de contact a fost măsurat înainte de măsurările electrochimice. Se observă un unghi de contact mai mare pe proba tratată la 800°C posibil datorită unui grad de porozitate înalt. La probele tratate termic la 600°C și 400°C unghiul de contact este mai mic, dar mai stabil după repetare la 3 zile.

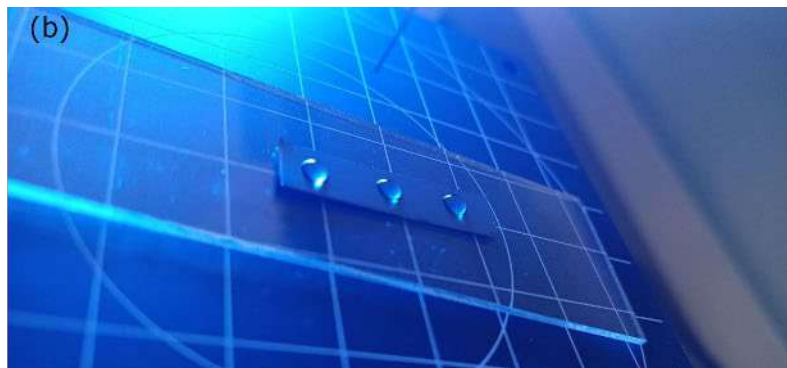
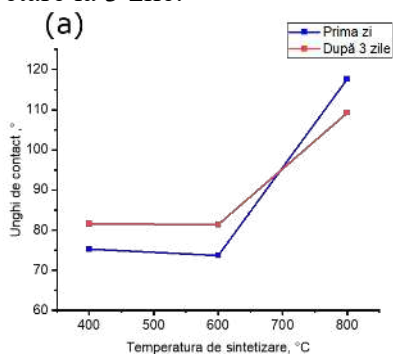


Figura 4. (a) Schimbările în timp a unghiurilor de contact la probele de Fe tratate termic la 400 °C, 600 °C și 800 °C. (b) Exemplu de măsurare a unghiului de contact prin aplicarea unei picături de apă

Concluzii

Tratamentul termic influențează direct morfologia și proprietățile straturilor de oxid de fier formate pe folii de Fe. Măsurătorile unghiului de contact au evidențiat modificări ale umectării suprafețelor în funcție de temperatura de sinteză, iar voltametria ciclică a probei tratate la 500°C, în pH 7 și pH 13, a confirmat stabilitatea și activitatea electrochimică a stratului de oxid. Unghiul de contact măsurat pe probele tratate termic indică o variație clară a umectabilității: proba oxidată la 600°C prezintă un unghi de contact scăzut, de 73,7°, semn al unui strat hidrofilic, iar la 800°C unghiul crește la 117,6°, sugerând un strat hidrofob. Fierul neoxidat are un unghi intermediar de 92,9°. Astfel, după tratarea foliilor de Fe la diferite temperaturi și timpuri s-au stabilit condițiile optime de obținere a unui oxid care nu se dizolvă/degradează imediat în timpul măsurărilor electrochimice.

Mulțumiri. Această lucrare a fost finanțată de Ministerul Educației și Cercetării din Republica Moldova, subprogramul instituțional #02.04.02 „Dezvoltarea tehnologiilor și investigarea proprietăților compușilor semiconductori stratificați, nanostructurilor hibride și surselor laser”. Contract de finanțare instituțională nr. 2/CC din 28 ianuarie 2025 și din cadrul proiectului Tineri Cercetători #24.80012.5007.12TC.

Referințe

1. CHAUDHARI, D.S.; PANCHAL, M.; PARMAR, R.M.; KUMAR, S.; PATEL, R. A Review on Sustainable Iron Oxide Nanoparticles: Syntheses and Applications in Organic Catalysis and Environmental Remediation. *Green Chem.* 2024, 26, 7579–7655. <https://doi.org/10.1039/D4GC01870B>.
2. DANIEL, S.C.G.K.; ARIVALAGAN, P.; CHANDRASEKARAN, M.; GOVARTHANAN, M. Advances in the Applications of Nanomaterials for Wastewater Treatment. *Environments* 2022, 9, 141. <https://doi.org/10.3390/environments9110141>.
3. LI, L.; XU, Q.; LV, Y.; WANG, H.; WANG, G.; DU, Y. Iron Oxide-Based Nanomaterials for Supercapacitors. *J. Energy Chem.* 2019, 38, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.jechem.2019.01.016>.
4. KUMAR, V.; SINGH, P.; KAUSHIK, A.; GOYAL, R.N. Nanomaterials-Based Biosensor and Their Applications: A Review. *J. Nanobiotechnol.* 2023, 21, 123. <https://doi.org/10.1186/s12951-023-01882-5>.
5. JEEVANANDAM, J.; BARHOUM, A.; CHAN, Y.S.; DUFRESNE, A.; DANQUAH, M.K. Nanomaterials: A Review of Synthesis Methods, Properties, Recent Progress, and Challenges. *Mater. Adv.* 2021, 2, 6292–6335. <https://doi.org/10.1039/D0MA00807A>.
6. NIU, H.H.; ZHANG, S.W.; MA, Q.; QIN, S.X.; WAN, L.; XU, J.Z.; MIAO, S.D. Temperature Controlled Shape Evolution of Iron Oxide Nanostructures in HMTA Media. *RSC Adv.* 2017, 7, 22261–22268. <https://doi.org/10.1039/C7RA03603E>.
7. CRECIUNEL, C.; CIOBANU, V.; MONAICO, E. V. Remote-Controlled Temperature Setup Designed for ZnO Nanostructures Fabrication. In: 8th International Colloquium “Physics of Materials” (PM-8), 14 — 15 November 2024, Bucharest, Romania. p. 29. Available: http://www.physics.pub.ro/Site_Conferinta_PM-8/Abstracts_Book.pdf
8. MONAICO, E.V. *Micro- and Nano-Engineering of III-V and II-VI Semiconductor Compounds and Metal Nanostructures Based on Electrochemical Technologies for Multifunctional Applications*; Monografie. Bons Offices: Chisinau, Moldova, (2022); ISBN 978-9975-166-63-8. Available: <https://repository.utm.md/handle/5014/21913>
9. CHAKRABORTY, A.R.; DAS, S.; MUKHERJEE, S.; SAHA, A.; MUKHOPADHYAY, S. Influence of Annealing Temperature on Fe₂O₃ Nanoparticles: Synthesis Optimization and Structural, Optical, Morphological, and Magnetic Properties Characterization for Advanced Technological Applications. *Heliyon* 2024, 10, e40000. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40000>.

MAGNETIC MIXING DEVICE

Alexandru RAILEAN*, Andrian CHEPTENE

Technical University of Moldova, Faculty of Computers Informatics and Microelectronics,
Department of Microelectronics and Biomedical Engineering, group MN-221, Chișinău, Republic of Moldova

*Corresponding author: Railean Alexandru, alexandru.railean@mib.utm.md

Scientific mentor **Maxim CHIRIAC**, Asistant professor, Nanotechnologies and Nanosensors Center,
Department of Microelectronics and Biomedical Engineering, Faculty of Computers Informatics and
Microelectronics, Technical University of Moldova, Chișinău, Republic of Moldova

Abstract. *In the Microelectronics Technology Fundamentals laboratories, we use various freshly prepared solutions. Students need to mix these solutions, but not all use suitable instruments. To address this, we developed a device that uses a stir bar immersed in the solution, which is rapidly spun by a magnetic field. By using magnetic mixing devices, we can set a constant stirring speed and allow the solution to mix evenly without continuous manual intervention. This not only saves time but also increases precision and consistency in the mixing process. The device ensures that the solution remains homogeneous throughout the experiment, which is especially important when working with plating or chemical reactions where even minor variations can affect the outcome. Proper mixing helps maintain the right chemical balance, temperature distribution, and improves the reliability of results. Additionally, using a hands-free mixing method allows students to focus on other tasks while the solution is being prepared, improving efficiency during lab sessions. Overall, the magnetic stirrer is a simple yet effective solution that improves workflow, enhances the quality of the plating process, and ensures better reproducibility of experiments. In this article, we present the development of this device along with its electrical schematic and explain the principle behind its operation.*

Keywords: magnet, agitation, mix, microcontroller, immersed.

Introduction

As part of our studies, we have a course called Fundamentals of Microelectronics Technology, and in the laboratories for this course, there are times when it is necessary to work with chemicals [1], which are often mixtures of several chemicals. The device ensures uniform mixing of solutions, which is crucial for the processes studied in the laboratories and allows for safe and convenient mixing. It eliminates the need for continuous manual stirring, allowing students to focus on other laboratory tasks, thereby improving efficiency. The device operates using a rotating magnetic field generated under platform [3]. A magnetic stirring bar, coated with inert material[6] and placed in the solution, aligns with this rotating field and rotates rapidly, creating a vortex that mixes the liquid evenly. The stirring speed can be controlled to ensure complete mixing for different solution viscosities. The device is controlled by an ATmega128 microcontroller (MCU) [4], which receives control commands from the buttons on the housing or from the device's serial port. Information about the device status is displayed on a 20x4 display and duplicated in serial. The MCU controls the motor speed via the motor driver (L298N). Due to the fact that the device provides a constant stirring speed, which leads to more accurate and reproducible experimental results. Minimize student contact with chemicals. Simplifies the solution preparation process [5]. This leads to more consistent and reliable experimental results.

Technical part

In the intricate domain of microelectronics, the precise preparation of chemical solutions is an indispensable prerequisite for a multitude of fabrication processes, including critical steps such as etching, deposition, and advanced material synthesis[1]. The success and integrity of

these manufacturing procedures are fundamentally contingent upon achieving exact chemical concentrations and ensuring an absolutely uniform distribution of all constituent components within the solutions. Crucially, manual stirring also necessitates prolonged direct exposure of students to potentially hazardous chemicals[3], thereby undermining both stringent laboratory safety protocols and the scientific validity of experimental results. This article provides a comprehensive examination of a custom-designed magnetic stirrer, specifically engineered for deployment within the "Fundamentals of Microelectronics Technology" laboratory. The device is meticulously crafted to ensure highly uniform mixing of chemical solutions, drastically reducing the necessity for continuous manual intervention and, as a direct consequence, enhancing both operational safety and overall laboratory efficiency.

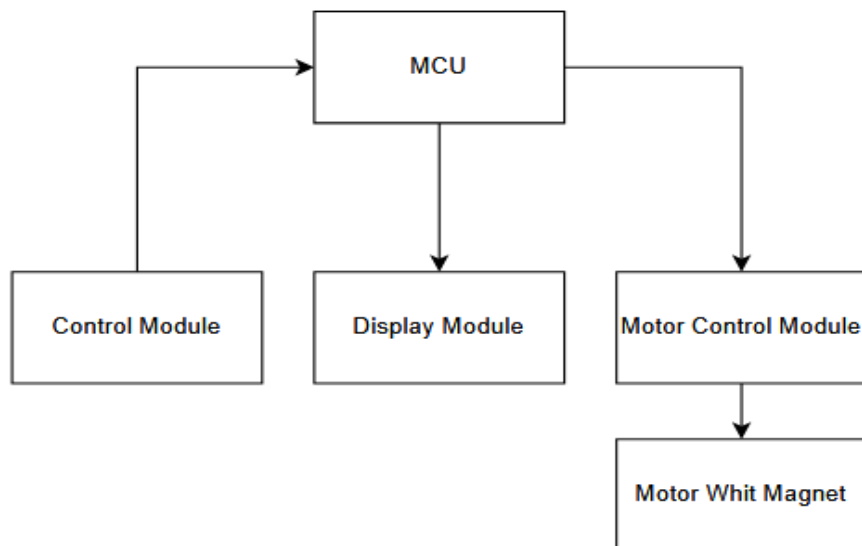


Figure 1. Conceptual scheme of the system

The operational foundation of this device is rooted in the principle of generating a precisely controlled rotating magnetic field beneath a stationary platform. This sophisticated control is managed by an ATmega128 microcontroller (MCU)[4], which facilitates accurate speed regulation and provides comprehensive real-time user feedback on the device's operational status. The device receives control commands either from physical buttons integrated into its housing or via its serial communication port by connecting the microcontroller to a computer via USB, offering flexible interaction modes. The system consists of a control module that represents two methods of retrieving data from the user, which is then processed by the MCU [2]. The commands available to the user are: increase speed by 5%, decrease speed by 5%, and stop. Information regarding the device's status is prominently displayed on a 20x4 character liquid crystal display and simultaneously duplicated through its serial port, ensuring accessibility of critical data. Depending on the speed selected for the motor, a PWM signal with a duty cycle proportional to the selected speed is transmitted to the motor driver. The MCU precisely controls the motor speed through an L298N motor driver, which operates via an H-bridge configuration. Figure 1 shows the conceptual schematic of the device.

In Figure 2, the circuit diagram of the magnetic mixer device is shown, displaying how all the main components are connected. The Arduino Nano board, which contains the ATmega128 microcontroller[4], acts as the control unit of the system. The motor is connected to a motor driver module that receives power from an external adapter. A 20x4 character display shows the current status of the device, and four push buttons are used to control its operation. The image clearly illustrates how the buttons, display, motor, and power supply are all linked to the control unit to work together smoothly.

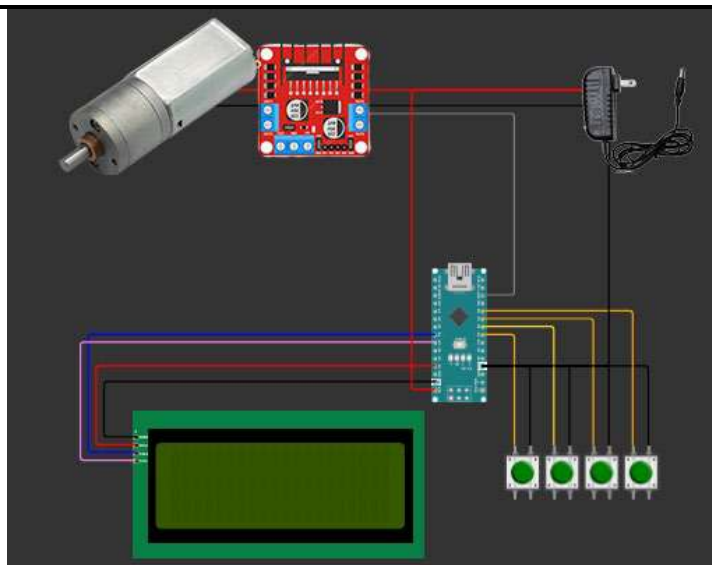


Figure 2. Magnet mixer control circuit diagram

The foundational principle governing the operation of a magnetic stirrer is electromagnetism. At the core of the device, a motor or a precisely arranged array of stationary electromagnets is positioned beneath the stirring platform. This assembly is engineered to generate a dynamic, rotating magnetic field. This rotating field then interacts directly with a magnetic stir bar, which is strategically placed within the liquid solution[7]. The interaction causes the stir bar to align with the rotating field and consequently spin rapidly, initiating the crucial mixing process. The stir bar itself is a small, encapsulated magnet, typically coated with an inert material such as Polytetrafluoroethyl, to prevent chemical reactions with the solution and ensure purity[6].

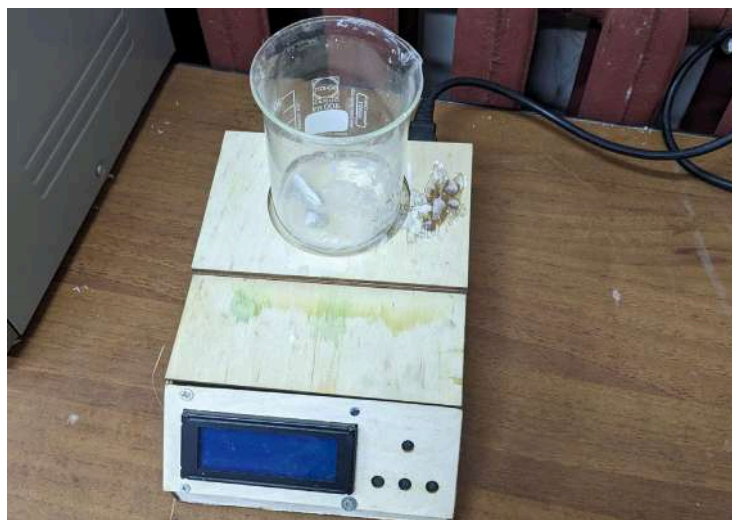


Figure 3. Assembled device

PTFE is the preferred coating material due to its exceptional chemical resistance, insolubility (which prevents contamination of the media), high purity, and impressive heat resistance, capable of withstanding temperatures up to 280°C (and 300°C for short durations)[8]. While Alnico V is a widely used magnetic material for stir bars, more powerful rare-earth alternatives such as Samarium-Cobalt (SmCo) and Neodymium (NdFeB) exist[7]. However, it is important to note that NdFeB magnets have a lower maximum working temperature (150°C), which can preclude direct encapsulation with PTFE due to the higher processing temperatures

required for PTFE. The specific shape and size of the stir bar are also crucial design considerations, as they significantly influence the degree of agitation, the formation of the vortex, and compatibility with various vessel geometries.

Conclusions

Proper mixing helps maintain the right chemical balance, temperature distribution, and improves the reliability of results. Additionally, using a hands-free mixing method allows students to focus on other tasks while the solution is being prepared, improving efficiency during lab sessions. Magnetic stirrers operate based on a rotating magnetic field that drives a magnetic stir bar placed inside the container. The stir bar, a small magnet encapsulated in an inert material such as Polytetrafluoroethylene (PTFE), ensures that it does not chemically react with the solution. PTFE is the preferred coating due to its exceptional chemical resistance, insolubility—which prevents contamination—high purity, and the ability to withstand temperatures up to 280°C. This simple yet effective device enhances workflow, improves the quality of processes like plating or chemical synthesis[2], and ensures consistent, reproducible experimental outcomes.

Thanks. Railean Alexandru and Cheptene Andrian are grateful to the Technical University of Moldova. This work was funded by the state program LIFETECH (020404) of the Technical University of Moldova, with the support of the Ministry of Education and Research of the Republic of Moldova.

References

1. CHIRIAC, M. Modernizarea și automatizarea instalației de tratare termică utilizată în procesul de litografie optică. In: Interuniversitaria, Ed. 19, 4 mai 2023, Bălți. Bălți, Republica Moldova: Universitatea de Stat „Alecru Russo” din Bălți, 2023, Ediția 19, Vol.2, pp. 115-119. ISBN 978-9975-50-303-7..
2. CAINAREAN, O.; CHIRIAC, M.; ABABII, N. Elaborarea blocului electronic pentru instalația de expunere. In: Conferința tehnico-științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor, 27-29 martie 2024, Chișinău. Chișinău, Republica Moldova: „Tehnica-UTM”, 2024, Vol.1, pp. 505-510. ISBN 978-9975-64-458-7. ISBN (pdf) 978 9975-64-459-4 (Vol. 1).
3. Advantages and Disadvantages: Media Preparation Methods, Media Preparation Made Easy Available online: <https://www.dwscientific.com/blog/media-preparation-made-easy> (accessed on 12 02 2025).
4. ATmega128/L Datasheet. Available online: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/doc2467.pdf>(accessed on 12 02 2025)
5. Advantages and Disadvantages: Media Preparation Methods . Available online: <https://www.scitekglobal.com/magnetic-stirrers-complete-guide.html>(accessed on 15 03 2025)
6. Exploring the Benefits of Using a Quality Electric Magnetic Stirrer in Laboratories. Available online: https://www.dlabsci-online.com/news_detail/1881884682682531840.html?_detailId=1724994144148738048 (accessed on 15 03 2025)
7. Magnetic Stirrer: Operating Principle and Applications. Available online: <https://www.borosilscientific.com/magnetic-stirrer-operating-principle-and-applications/> (accessed on 15 03 2025)
8. Magnetic Stirring – Technical Information. Available online: https://www.cowie.com/storage/product/products/1743074982_41.pdf (accessed on 20 04 2025)

IOT-GREENHOUSE CLIMATE CONTROL

Irina NEDEALCOVA*, Dmitrii BUJILOV, Dmitrii CRAVCENCO, Alexandr CIORNII

Department of Software and Automation Engineering, group FAF-223, Faculty of Computers, Informatics and Microelectronics, Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova

*Corresponding author: Irina Nedalcova, irina.nedalcova@isa.utm.md

Coordinator: **Andrei BRAGARENCO**, Ph.D., Technical University of Moldova

Abstract. *Greenhouse farming in Moldova is increasingly affected by extreme weather events such as droughts, frosts, and floods, putting pressure on food production and sustainability. This paper introduces a smart climate control system based on Internet of Things (IoT) technology, designed to help farmers better manage the internal environment of their greenhouses. The system continuously monitors key factors like temperature, humidity, CO₂ levels, and air circulation, and adjusts them in real time to support optimal plant growth and reduce energy waste. Built with affordability and practicality in mind, it includes a mobile interface that allows farmers—especially those operating small and medium-sized farms—to access and control the system remotely. Field testing in Moldovan conditions showed clear improvements in environmental stability and crop resilience. The key innovation lies in adapting advanced IoT tools to local agricultural realities, offering a scalable, user-friendly solution. Given the growing impact of climate change in Moldova, this topic is highly relevant and timely for the future of sustainable agriculture in the region.*

Keywords: *Agricultural IoT (AgIoT), climate control, temperature regulation, humidity control, environment monitoring, smart sensors*

Introduction

Greenhouses play a vital role in modern agriculture by creating a stable and controlled environment that supports healthy plant growth. They allow farmers to manage temperature, humidity, light, and airflow, helping to extend growing seasons and protect crops from unpredictable weather conditions. With climate change bringing more frequent droughts, frosts, and other extreme events, the ability to control the internal environment of a greenhouse has become more important than ever.

Recent advances in technology—especially the Internet of Things (IoT) and artificial intelligence (AI)—are transforming how greenhouses are managed. These tools allow for more precise, efficient, and sustainable farming practices. As noted by Bragarenco et al., using layered software architectures for IoT sensors makes these systems scalable and easier to adapt to new conditions or technologies [1].

According to the United Nations Food and Agriculture Organization (FAO), the global population is expected to reach 9.73 billion by 2050. This projected growth underscores the need to increase food production in a sustainable way. Greenhouses offer a promising solution by improving both the quantity and quality of crops, while also using resources like water and energy more efficiently.

In regions like Moldova, where agriculture is both a tradition and a necessity, greenhouse farming has proven to be especially valuable. Previous research has shown that IoT-based systems for collecting environmental data in real time can help farmers make better decisions, improving yields even under challenging conditions [2].

As illustrated in Figure 1, a greenhouse is typically a structure with plastic walls and a roof, designed to trap heat and light. But with the help of smart technology, it becomes much

more than that—a finely tuned system that adapts to the needs of the plants inside. Studies show that this level of control can boost crop yields by 10–12%, depending on the setup and crops grown.

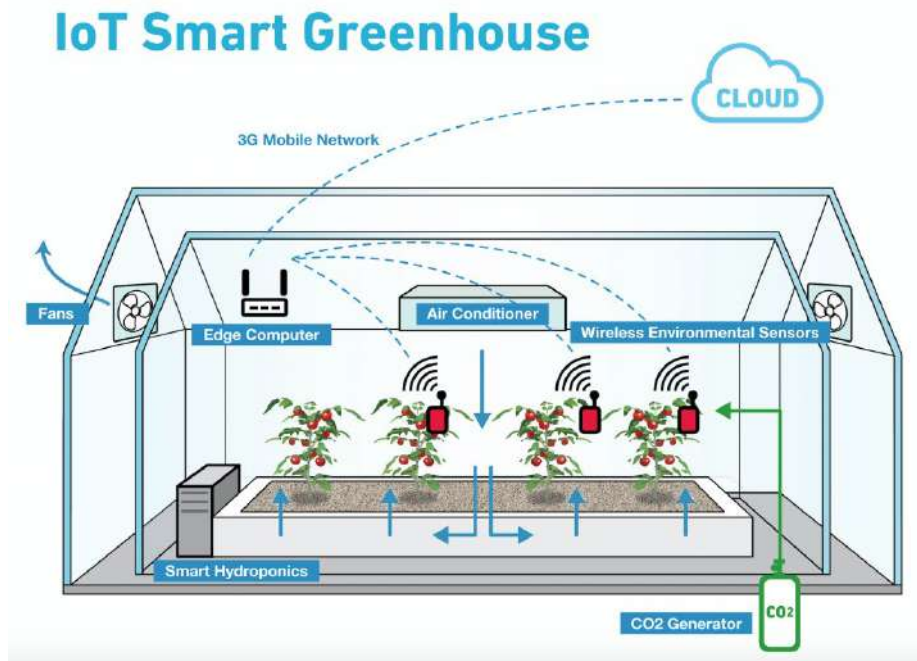


Figure 1. Structure of a smart greenhouse [9]

Methodology

To develop a practical and efficient greenhouse climate control system, we followed a user-centered, iterative approach that combined farmer feedback, careful system design, and ongoing refinement.

We began by conducting a survey using Google Forms, targeting 25 small-scale farmers in Moldova—most of whom manage less than one hectare of land. The goal was to understand their current challenges in managing greenhouse environments and to gauge how open they were to adopting new technologies. Their responses provided valuable insights into real-world pain points, such as difficulty maintaining consistent climate conditions and lack of remote control options.

Based on this feedback, we defined a set of core requirements for the system. These were grouped into four main categories:

- Functional – what the system should do
- Non-functional – performance expectations like reliability and speed
- Usability – ease of use, especially for non-technical users
- Economic and deployment – cost, scalability, and ease of installation

These requirements helped shape the overall architecture, which includes six tightly integrated subsystems: climate sensing, environmental control, movement, power supply, monitoring and control, and structural elements.

We used an iterative development process, allowing us to test and refine the design as we went. This ensured the final system would meet key goals such as efficiency, reliability, ease of use, and cost-effectiveness. A model-driven development approach was adopted, using JSON-based metamodels to streamline configuration and support rapid prototyping [3].

We also conducted a risk analysis, focusing on key factors such as sensor accuracy, safe operation of hardware components, and maintaining consistent power—particularly in rural areas where electricity can be unreliable.

System Architecture and Implementation

The greenhouse climate control system we developed is designed to meet the specific needs of small-scale farmers, focusing on affordability, ease of use, reliability, and automation. The architecture integrates both hardware and software components, ensuring the system can effectively monitor and control the growing environment. As shown in Figure 2, the system uses a combination of sensors, actuators, and intelligent software to manage environmental conditions in the greenhouse.

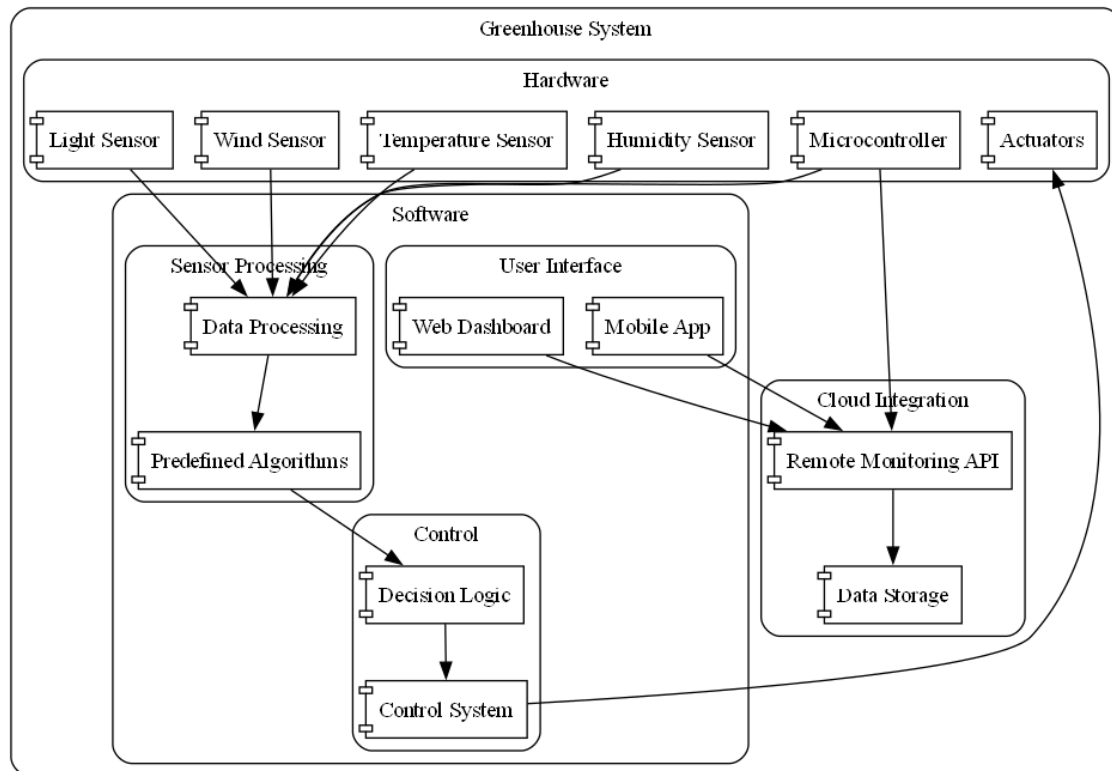


Figure 2. GCC Component Diagram for the Greenhouse System

The system starts with various sensors. The light sensor measures the intensity of sunlight within the greenhouse, providing data that allows the system to adjust shades or turn on supplemental lighting when necessary. The wind sensor tracks the speed and direction of the wind, enabling the system to activate ventilation systems when the wind becomes too strong, thus preventing damage or excessive air loss. The temperature sensor continuously monitors the internal temperature, triggering heating or cooling systems to maintain the ideal conditions for plant growth. Similarly, the humidity sensor detects moisture levels in the air, helping to regulate misting and irrigation to ensure the crops are well-watered.

The heart of the system is the microcontroller, which acts as the central processor. It gathers data from all sensors and processes it in real time, sending commands to the actuators to make adjustments as needed. The actuators perform the necessary actions based on the decisions made by the microcontroller. These include opening or closing windows, turning on or off fans, activating irrigation systems, or adjusting the lighting.

On the software side, the system is equipped with several modules designed to handle the data collected by the sensors. The sensor data processing module filters and prepares the raw data for analysis. Next, predefined algorithms apply logic to the data, making decisions on when adjustments need to be made. The decision logic engine evaluates the processed data and determines the necessary actions, while the control module sends commands to the actuators to implement the required changes.

To ensure the system is user-friendly, we've developed both a web dashboard and a mobile app. The web dashboard provides a clear, real-time view of all sensor data and system status, allowing users to make manual adjustments if needed. The mobile app offers the same features in a more portable format, enabling farmers to monitor and control their greenhouse remotely, even when they are away from their computer.

For enhanced connectivity and long-term optimization, the system includes a remote monitoring API that facilitates communication between the microcontroller, the cloud, and the user interfaces. This ensures that data is exchanged reliably and that the system can scale as needed. Additionally, data storage in the cloud allows for the storage of historical environmental data, which can be analyzed over time to identify trends, troubleshoot issues, and improve decision-making.

The overall goal of this system is to provide farmers with an easy-to-use, practical solution that enables them to monitor and control greenhouse conditions more effectively. With real-time data collection, automated adjustments, and an intuitive user interface, the system helps improve crop quality and resource efficiency, without requiring advanced technical knowledge from the user.

Figure 3 provides a high-level overview of the operation of the greenhouse climate control system. Within the greenhouse, various sensors are employed to continuously collect crucial environmental data, such as temperature, humidity, and light levels. These sensors work together as part of a connected network powered by eco-friendly solar panels, ensuring sustainable operation. The sensors transmit the gathered data via Wireless Sensor Network (WSN) nodes to a central gateway. This gateway is responsible for forwarding the data to either cloud storage or local servers, where it is processed and analyzed.

Based on the analysis, the system determines the necessary actions to maintain optimal conditions within the greenhouse. For instance, it can adjust ventilation, activate heaters, or modify irrigation settings to respond to changes in the environment. The system operates through four primary stages: data collection, data processing, system reaction, and user interface (UI) control.

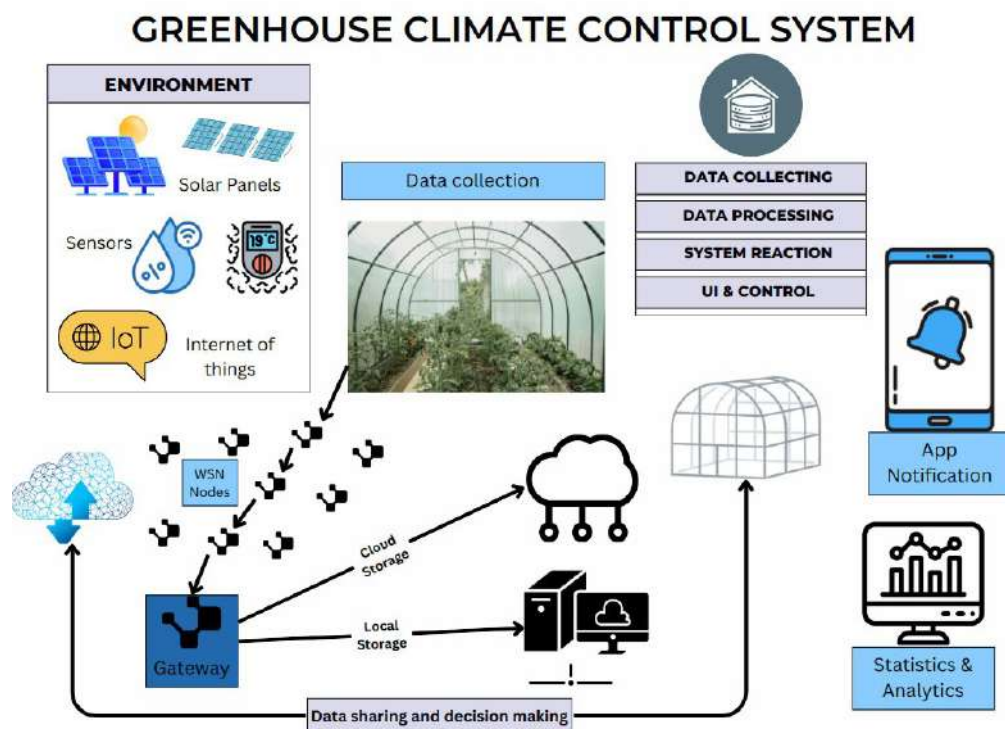


Figure 3. GCC System

Farmers can access real-time data and receive notifications about greenhouse conditions via a mobile app. This feature allows them to monitor the environment remotely and make necessary adjustments as needed. Moreover, the system stores and analyzes all data, generating useful insights and statistics that enable farmers to make informed decisions. By automating environmental control, this integrated system ensures the greenhouse remains at optimal conditions without requiring constant manual intervention.

Comparison of Our Greenhouse Climate Control System with Other Smart Greenhouse Solutions

Our Greenhouse Climate Control System is designed to be an affordable, simple, and flexible solution for small and medium-sized farmers. Compared to standard kits and expensive industrial systems (Table 1), our solution costs significantly less while offering powerful features like offline operation, easy installation, and a mobile-friendly interface.

Thanks to edge computing, farmers can control their greenhouse environment even without a constant internet connection [7]. The system is also highly customizable, making it adaptable to different crops, greenhouse sizes, and local conditions. This gives small farmers modern technological advantages without the need for specialized knowledge or large investments.

Table 1

Feature	Our System	Standard Smart Greenhouse Kits	Industrial Climate Control Systems
Cost	< 800 EUR	1,500–3,000 EUR	> 20,000 EUR
Target User	Small/medium farmers	Hobbyists, small gardens	Large commercial farms
Internet Dependency	Low (supports offline mode)	High (cloud-dependent)	Medium
User Interface	Mobile app + simple dashboard	Web-based, basic apps	Complex industrial software
Installation and Maintenance	Easy (local tools)	Medium (basic skills needed)	Hard (requires specialists)
Customization	High (open to adjustments)	Low (fixed options)	Medium (professional setup only)

Conclusions

This paper presented a practical and cost-effective climate control system for greenhouses, tailored specifically to the needs of small and medium-sized farmers in Moldova. By integrating IoT technologies with user-friendly software and reliable sensor networks, our solution allows for real-time environmental monitoring, intelligent decision-making, and easy control through a mobile interface.

Compared to other commercial systems, our design stands out for its affordability, ease of installation, offline functionality, and adaptability to different greenhouse setups. It empowers farmers to maintain optimal growing conditions with minimal technical effort, leading to better crop yields and more efficient resource use.

As climate challenges continue to affect agriculture, solutions like ours play a key role in making farming more resilient and sustainable [8]. Future work may include expanding functionality with AI-based predictive analytics, broader sensor integration, and enhanced data visualization tools.

Acknowledgments: We thank our coordinator, Dr. Andrei Bragarenco, for his guidance and expertise throughout this research. We also acknowledge the valuable insights provided by agricultural expert Sergiu Melnic and the farmers who participated in our surveys and testing.

References

1. BRAGARENCO, A.; MARUSIC, G.; CIUFUDEAN, C. Layered Architecture Approach of the Sensor Software Component Stack for the Internet of Things Applications. *WSEAS Transactions on Computer Research* 2019, 7, pp. 124–135.
2. BRAGARENCO, A.; MARUSIC, G. INTERNET OF THINGS SYSTEM FOR ENVIRONMENTAL MAP ACQUISITION. *Journal of Engineering Science* 2019, XXVI(4), pp. 88–102. doi:10.5281/zenodo.3591594.
3. BRAGARENCO, A. Method for Embedded Systems Development by Configurations and Code Generation Based on JSON Metamodels. *Akademios – Journal of Science, Innovation, Culture and Art* 2020, 3(58), pp. 19–27. doi:10.5281/zenodo.4269373.
4. BRAGARENCO, A. Sensor-Actuator Software Component Stack for Industrial Internet of Things Applications. In *Proceedings of the 24th International Conference on System Theory, Control and Computing*, Sinaia, Romania, October 8–10, 2020; IEEE: pp. 540–545. doi:10.1109/ICSTCC50638.2020.9259710.
5. BRAGARENCO, A.; MARUSIC, G.; CIUFUDEAN, C. Communication Chain in the Internet of Things with Spread-out Electronic Device System Abstraction. In *Proceedings of the IEEE IEMTRONICS (International IoT, Electronics and Mechatronics Conference)*, Toronto, Canada, April 21–24, 2021; IEEE: pp. 340–344. doi:10.1109/IEMTRONICS52119.2021.9422565.
6. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. *The Future of Food and Agriculture: Trends and Challenges*; FAO: Rome, Italy, 2017.
7. HOSNY, K.M.; EL-HADY, W.M.; SAMY, F.M. Technologies, Protocols, and Applications of Internet of Things in Greenhouse Farming: A Survey of Recent Advances. *Information Processing in Agriculture* 2024 (in press).
8. Challenges and Future Directions in IoT-Based Energy Research. *Frontiers in Energy Research*, 2021. Available online: <https://www.frontiersin.org/journals/energy-research/articles/10.3389/fenrg.2021.783587/full> (accessed May 2, 2025).
9. GlobalX. *The Internet of Things in Agriculture: 8 Ways to Use Technologies for Smart Farming*. GlobalX-UA. Available online: <https://globalx-ua.com/ru/internet-veschey-v-selskom-hozyaystve> (accessed May 3, 2025).

INTEFERENȚA ÎN REGIUNEA EXCITONICĂ A MONOCRISTALELOR STRATIFICATE

Ecaterina CRISTEA^{1,2}

¹ Laboratorul de spectroscopie optică și comunicații optice, Centrul Național de Studiu și Testare a Materialelor, Universitatea Tehnică a Moldovei

² Departamentul Telecomunicații și Sisteme Electronice, Facultatea Electronică și Telecomunicații, Universitatea Tehnică a Moldovei, lect. univ.

*Autorul corespondent: Ecaterina Cristea, ecaterina.cristea@srco.utm.md

Îndrumătorul/coordonatorul științific **Victor ZALAMAI**, dr. cof. cerc., Laboratorul de spectroscopie optică și comunicații optice, Centrul Național de Studiu și Testare a Materialelor

Rezumat. Recent, materialele stratificate au atras o atenție tot mai mare de la dezvoltarea grafenului pentru a obține materiale 2D cu bandă interzisă diferită de zero. Pentru o determinare cât mai precisă a lărimii benzii interzise, este necesară detectarea stărilor excitonice. Prin urmare, studiul proprietăților optice în regiunea excitonilor devine relevant. La anumite grosimi ale cristalelor în regiunea excitonilor, pe lângă interferența Fabry-Perot obișnuită, se poate observa interferență asociată cu undele excitonice longitudinale și transversale. Datorită structurii stratificate a cristalelor de SnSe și GaSe studiate, este posibilă selectarea grosimii plăcilor cristaline pentru a observa această interferență. În plăcile subțiri de SnSe din regiunile A și B ale seriei excitonice au fost descoperite benzi de interferență de două tipuri: rare (distanță mai mare între maxime) și dense (distanță mai mică între maxime), cauzate de existența și interferența unor unde suplimentare de polaritoni excitonici. Oscilații mari cauzate de interferența Fabry-Perot a ramurii transversale a polaritonilor excitonice. În intervalul dintre ramurile transversale și longitudinale ale polaronului excitonic, oscilații mai frecvente se suprapun peste cele mai mari, care apar ca urmare a interferenței reciproce a polaritonilor excitonice ai ramurilor longitudinale și transversale. O imagine similară se observă și în straturile de GaSe.

Cuvinte cheie: Spectroscopie optică, Stări excitonice, Cristale stratificate, Selenuri de staniu și galiu.

Introducere

De la obținerea primului material bidimensional grafen [1,2], care a prezentat proprietăți complet diferite de cele ale materialului masiv, s-a acordat din ce în ce mai multă atenție studiului materialelor bidimensionale. Cu toate acestea, grafenul are o bandă interzisă egală cu zero, ceea ce reduce serios domeniile sale de aplicare și face imposibilă utilizarea sa în dispozitive optoelectronice. În acest sens, s-a atras atenția asupra materialelor semiconductoare stratificate care au o bandă interzisă diferită de zero. Un exemplu al acestor materiale este seleniura de staniu (SnSe) și seleniura de galiu (GaSe).

Seleniurile de staniu atrag atenția datorită gamei largi de aplicații posibile. Cristalele de SnSe sunt utilizate în dispozitive optice și optoelectronice care funcționează în regiunea infraroșu apropiat [3], în sisteme de înregistrare holografică [4], în dispozitive electronice de memorie și în comutație, precum și în structuri fotovoltice. Compusul SnSe, cu o structură de rețea rombică, are o conductivitate termică scăzută, ceea ce oferă potențiale avantaje în creșterea eficienței conversiei termoelectrice [5,6]. Structura rețelei cristaline de SnSe previne propagarea fononilor și fluctuațiile de temperatură de-a lungul axei b, ceea ce provoacă un coeficient Seebeck ridicat în acest material.

Pentru a crea dispozitive optice și optoelectronice bazate pe SnSe, este necesar să se studieze amănunțit proprietățile optice, electrice și electronice ale acestui material, atât sub formă de monocristale, cât și de nanostructuri. O serie de lucrări sunt dedicate studiului proprietăților optice ale acestor materiale, de exemplu, au fost studiate spectrele Raman [5–7], spectrele de absorbție la margini [8, 9], electroreflectanța SnSe [10] și dependența proprietăților optice ale peliculelor subțiri de SnSe [11] de temperatură. Lățimea benzii interzise atribuită tranzițiilor indirecte variază de la 0,58 eV [12] până la 1,076 eV [11]. Pentru o determinare mai precisă a valorii benzii interzise, este necesar un studiu detaliat al stărilor excitonice din intervalele interbenzi în diferite puncte caracteristice ale zonei Brüllien.

Compușii GaSe au caracteristici anizotrope pronunțate și prezintă interes din punctul de vedere al aplicării lor în domeniul opticii neliniare și optoelectronicii, în special pentru generarea de radiații terahertz monocromatice [13, 14] și de bandă largă [14–18], crearea de surse pentru sisteme de nanoscopie IR în câmp apropiat [17, 18], fotodetectori și detectori de radiații ionizante. Datorită structurii stratificate, acești compuși suferă o relaxare rapidă a tensiunilor mecanice care decurg din nepotrivirea constantelor rețelei, ceea ce îi face materiale promițătoare pentru aplicarea metodei de epitaxie van der Waals [19].

Până în prezent, au existat studii asupra proprietăților electronice și optice ale cristalelor de GaSe efectuate la diferite temperaturi cu exhaustivitatea necesară [20]. Spectrele optice ale excitonilor au fost studiate folosind spectre de absorbție, luminescență și reflexie [18,19,21]. Cu toate acestea, în ciuda importanței primordiale a cunoașterii constantelor optice pentru utilizarea acestor cristale, până în prezent parametrii, conform datelor diferiților autori, diferă foarte mult.

În această lucrare, au fost investigate spectrele polarizate de transmisie ($\Delta T/\Delta \lambda$) modulate de lungime de undă măsurate la o temperatură de 10 K. În aceste spectre a fost detectată interferența polaritonilor excitonice.

Metodele experimentale

Cristalele de SnSe crescute în fiole prin metoda topirii zonale au fost lingouri cu dimensiunile de 1x1x1,5 cm, care au fost ușor de ciobit, permițând obținerea unor suprafețe de oglindă cu diferite grosimi de 100 μm - 3 mm. Plăci subțiri cu grosimea de 7-10 μm au fost obținute prin exfolierea unui strat subțire cu bandă adezivă.

Cristalele de GaSe crescute prin metoda Bridgman au fost lingouri cu dimensiunile de 1x1,2x6,5 cm, ușor de ciobit, permițând obținerea unor suprafețe de oglindă cu grosimi variate, de la 100 nm la 5 mm. În mod similar, s-au obținut probe de grosimi mici prin exfolierea unui strat subțire cu bandă adezivă.

Transmisia și reflexia modulate de lungime de undă au fost măsurate pe un monocromator MDR-2 cu un raport de apertură de 1:2 și o dispersie liniară de 7 $\text{\AA}/\text{mm}$. Spectrele la temperatură scăzută ale cristalelor plasate într-un sistem criogenic optic închis cu criostat de heliu LTS-22 C 330 au fost măsurate cu fante de intrare și ieșire ale monocromatorului care nu depășesc 70 μm , adică cu o rezoluție de $\sim 0,5$ meV. Suprafețele plăcilor au fost perpendiculare pe axa b și au avut o reflectivitate ridicată.

Rezultatele experimentale

Atunci când se studiază spectrele de reflexie și transmisie la temperaturi joase, studiul acestor spectre în regiunea apropiată de marginea de absorbție prezintă un interes deosebit. La temperaturi scăzute, în această regiune se pot observa polaritoni excitonici. Polaritonii excitonici pot fi observați în orice material semiconductor la temperaturi scăzute. Detectarea stărilor fundamentale și excitate ale acestor particule în spectrele optice permite determinarea benzii interzise a materialului studiat cu o precizie foarte mare.

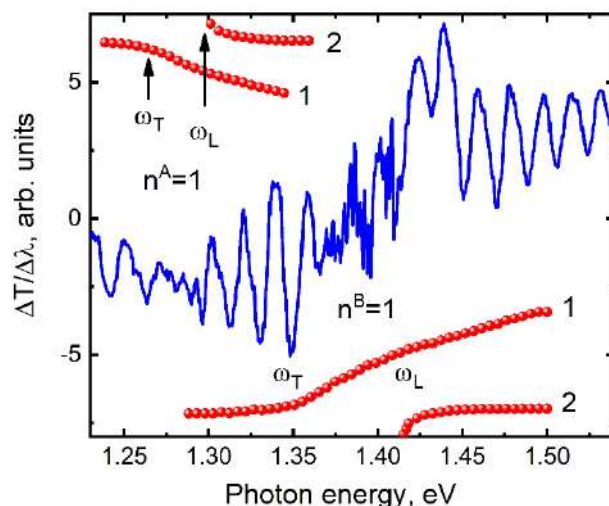


Figura 1. Spectrele transmisiei modulate de lungime de undă ($\Delta T/\Delta \lambda$) ale cristalelor de SnSe cu o grosime de $4.5 \mu\text{m}$, la o temperatură de 10 K și modurile polaritonice A și B ale excitonilor în intervalul de energie de 1.2 – 1.55 eV. Inserțiile prezintă ramurile polaritonice ale polaritonilor excitonici corespunzători.

În spectrele de transmisie modulate de lungime de undă ($\Delta T/\Delta \lambda$) ale cristalelor de SnSe cu o grosime de $4.5 \mu\text{m}$, la o temperatură de 10 K, se observă și benzi de interferență rare și dense (Fig. 1). Benzile dense se observă exact în regiunea modurilor polaritonice A și B ale excitonilor. În regiunea de energie $E < 1.38 \text{ eV}$ (energia modei transversal ω_T al excitonului B), benzile rare sunt mai intense, ca în regiunea $E > 1.433 \text{ eV}$. Aceste linii de interferență dense se observă în intervalul de energie $E(\omega_T) < E < E(\omega_L)$. În regiunea de energie $E > E(\omega_L)$, sunt deja detectate linii de interferență mari.

O scădere a distanței dintre maximele de interferență adiacente în regiunea dintre excitonii longitudinali și transversali a fost observată în spectrele optice în timpul studiului cristalelor de CdS [22, 23]. Acest fenomen a primit o explicație naturală în cadrul unei teorii care ia în considerare dispersia spațială și existența undelor exciton-polariton suplimentare. Confirmarea directă a teoriei undelor polaritonice suplimentare a fost oferită de rezultatele măsurătorilor spectrelor de reflexie și transmisie de interferență ale cristalelor subțiri de CdS și CdSe (Kiselev și colab. [23]). Pe cristalele de CdSe la temperaturi de 4.2 K, la măsurarea spectrelor de reflexie, s-a observat o trăsătură caracteristică a spectrelor în aceeași regiune dintre polaritonii longitudinali și transversali. Oscilații suplimentare au apărut cu o perioadă de aproape două ori mai lungă decât cea obișnuită. Autorii au remarcat că motivul dublării perioadei este legat de faptul că unda luminoasă trece prin cristal o dată (de exemplu, înainte) sub forma unui polariton exciton al ramurii 1 și o dată înapoi, după reflexia de pe peretele posterior al cristalului sub forma unui polariton exciton al ramurii 2 [21, 22].

Astfel, în cristalele de SnSe se observă două serii de oscilații de interferență, atât în regiunea a seriei de excitonul A, cât și în regiunea a excitonul B. Oscilațiile mari sunt cauzate de interferența Fabry-Perot a polaritonilor excitonice a ramurii 1 (ω_T). Pe fondul acestora se observă oscilații mici, care apar ca urmare a interferenței reciproce a polaritonilor excitonilor ale ramurilor 1 (ω_T) și 2 (ω_L), Fig. 1.

O imagine similară se observă pentru un strat subțire de GaSe (cu grosimea de $4,5 \mu\text{m}$). În Fig. 2, în intervalul de energie de aproximativ 2,11-2,115, este clar vizibilă o serie de linii de interferență înguste, care se îngroașă și ele pe măsură ce energiile cresc. Aceste linii de interferență dense sunt observate în intervalul de energie $E(\omega_T) < E < E(\omega_L)$. În intervalul de energie $E > E(\omega_L)$, sunt deja detectate linii de interferență mari.

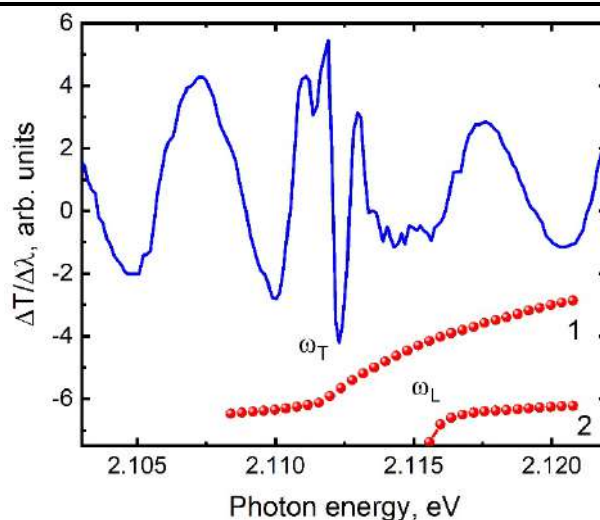


Figura 2. Spectrele de transmisie modulată de lungime de undă $\Delta T/\Delta \lambda$ ale cristalelor de GaSe cu o grosime de 4.5 μm , la o temperatură de 10 K în intervalul de energie 2.105 – 2.12 eV

Astfel, în cristalele de GaSe se observă două serii de oscilații de interferență. Oscilațiile mari se datorează interferenței Fabry-Perot a polaritonilor excitonilor a ramurii 1. Pe fundalul acestora, se observă oscilații mici, care apar ca urmare a interferenței reciproce a polaritonilor excitonilor ramurilor 1 și 2, Fig. 2. Liniile de interferență din regiunea $\omega_T - \omega_L$ au o caracteristică slab sesizabilă, se îngroașă pe măsură ce se apropie de ω_T la ω_L , iar amplitudinea oscilațiilor suplimentare scade. Pe măsură ce grosimea cristalului d crește, modelul de interferență se îngroașă, iar amplitudinea oscilațiilor suplimentare scade.

Concluzii

În straturile subțiri de SnSe din regiunile seriei de excitoni A și B, au fost detectate oscilații de interferență rare și dense cauzate de existența și interferența unor unde suplimentare de polaritoni excitonici. Oscilațiile mari sunt cauzate de interferența Fabry-Perot a polaritonilor excitonici ai ramurii ω_T . În intervalul $\omega_T - \omega_L$, oscilațiile dense care apar din interferența reciprocă a polaritonilor excitonici ai ramurilor ω_T și ω_L se suprapun peste oscilații mari.

În straturile subțiri de GaSe, au fost detectate două serii de oscilații de interferență doar în regiunea a excitonului A. Oscilațiile mari sunt cauzate de interferența polaritonilor exciton Fabry-Perot, iar oscilațiile mici apar ca urmare a prezenței unor unde exciton-polariton suplimentare și a interferenței lor reciproce.

Mulțumiri

Această lucrare a fost finanțată de Ministerul Educației și Cercetării din Republica Moldova, subprogramul instituțional #02.04.02 „Dezvoltarea tehnologiilor și investigarea proprietăților compușilor semiconductori stratificați, nanostructurilor hibride și surselor laser”. Contract de finanțare instituțională nr. 2/CC din 28 ianuarie 2025.

Referințe

1. CASTRO NETO, A.H.; GUINEA, F.N.; PERES, M.R.; NOVOSELOV, K.S.; GEIM, A.K. The electronic properties of graphene, *Rev. Mod. Phys.* 81 (2009) 109–162. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.81.109>.
2. NOVOSELOV, K.S.; GEIM, A.K.; MOROZOV, S.V.; JIANG, D.; ZHANG, Y.; DUBONOS, S.V.; GRIGORIEVA, I.V.; FIRSOV, A.A. Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films, *Science* 306 (2004) 666–669. <https://doi.org/10.1126/science.1102896>.

3. BURTON, L.A.; COLOMBARA, D.; ABELLON, R.D.; GROZEMA, F.C.; PETER, L.M.; SAVENIJE, T.J.; DENNLER, G.; WALSH, A. Synthesis, Characterization, and Electronic Structure of Single-Crystal SnS, Sn₂S₃, and SnS₂, Chem. Mater. 25 (2013) 4908–4916. <https://doi.org/10.1021/cm403046m>.
4. SUN, M.; HU, Y.; SHEN, B.; ZHAI, J.; SONG, S.; SONG, Z. Si/SnSe₂ Multilayer Films for Phase Change Memory Applications, Integrated Ferroelectrics 140 (2012) 1–7. <https://doi.org/10.1080/10584587.2012.741363>.
5. MATHEWS, N.R. Electrodeposited tin selenide thin films for photovoltaic applications, Solar Energy 86 (2012) 1010–1016. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.06.012>.
6. FRANZMAN, M.A.; SCHLENKER, C.W.; THOMPSON, M.E.; BRUTCHEY, R.L.; Solution-Phase Synthesis of SnSe Nanocrystals for Use in Solar Cells, J. Am. Chem. Soc. 132 (2010) 4060–4061. <https://doi.org/10.1021/ja100249m>.
7. CHUNG, K.-M.; WAMWANGI, D.; WODA, M.; WUTTIG, M.; BENSCH, W. Investigation of SnSe, SnSe₂, and Sn₂Se₃ alloys for phase change memory applications, Journal of Applied Physics 103 (2008) 083523. <https://doi.org/10.1063/1.2894903>.
8. ZAINAL, Z.; SARAVANAN, N.; ANUAR, K.; HUSSEIN, M.Z.; YUNUS, W.M.M. Chemical bath deposition of tin selenide thin films, Materials Science and Engineering: B 107 (2004) 181–185. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2003.11.008>.
9. CAMPBELL, K.A.; ANDERSON, C.M. Phase-change memory devices with stacked Ge-chalcogenide/Sn-chalcogenide layers, Microelectronics Journal 38 (2007) 52–59. <https://doi.org/10.1016/j.mejo.2006.09.012>.
10. ZHAO, L.-D.; LO, S.-H.; ZHANG, Y.; SUN, H.; TAN, G.; UHER, C.; WOLVERTON, C.; DRAVID, V.P.; KANATZIDIS, M.G. Ultralow thermal conductivity and high thermoelectric figure of merit in SnSe crystals, Nature 508 (2014) 373–377. <https://doi.org/10.1038/nature13184>.
11. CARRETE, J.; MINGO, N.; CURTAROLO, S. Low thermal conductivity and triaxial phononic anisotropy of SnSe, Applied Physics Letters 105 (2014) 101907. <https://doi.org/10.1063/1.4895770>.
12. VALIUKONIS, G.; GASHIMZADE, F.M.; GUSEINOVA, D.A.; KRIVAITÈ, G.; MAMEDOV, M.M.; ŠILEIKA, A. Electreflectance and Thermoreflectance Spectra of SnSe Crystals, Physica Status Solidi (b) 122 (1984) 623–627. <https://doi.org/10.1002/pssb.2221220227>.
13. YAGMURCUKARDES, M.; SENER, R.T.; PEETERS, F.M.; SAHIN, H. Mechanical properties of monolayer GaS and GaSe crystals, Phys. Rev. B 94 (2016) 245407. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.94.245407>.
14. GUO, J.; XIE, J.-J.; LI, D.-J.; YANG, G.-L.; CHEN, F.; WANG, C.-R.; ZHANG, L.-M.; ANDREEV, Y.M.; KOKH, K.A.; LANSKII, G.V.; SVETLICHNYI, V.A. Doped GaSe crystals for laser frequency conversion, Light Sci Appl 4 (2015) e362–e362. <https://doi.org/10.1038/lsa.2015.135>.
15. HSU, Y.-K.; CHEN, C.-W.; HUANG, J.Y.; PAN, C.-L.; ZHANG, J.-Y.; CHANG, C.-S. Erbium doped GaSe crystal for mid-IR applications, Opt. Express 14 (2006) 5484. <https://doi.org/10.1364/OE.14.005484>.
16. ALLAKHVERDIEV, K.R.; YETIS, M.Ö.; ÖZBEK, S.; BAYKARA, T.K.; SALAEV, E.YU. Effective nonlinear GaSe crystal. Optical properties and applications, Laser Phys. 19 (2009) 1092–1104. <https://doi.org/10.1134/S1054660X09050375>.
17. TONNDORF, P.; SCHWARZ, S.; KERN, J.; NIEHUES, I.; DEL POZO-ZAMUDIO, O.; DMITRIEV, A.I.; BAKHTINOV, A.P.; BORISENKO, D.N.; KOLESNIKOV, N.N.; TARTAKOVSKII, A.I.; MICHAELIS DE VASCONCELLOS, S.; BRATSCHITSCH, R. Single-photon emitters in GaSe, 2D Mater. 4 (2017) 021010. <https://doi.org/10.1088/2053-1583/aa525b>.

18. PHAM, K.D.; PHUC, H.V.; HIEU, N.N.; HOI, B.D.; NGUYEN, C.V. Electronic properties of GaSe/MoS₂ and GaS/MoSe₂ heterojunctions from first principles calculations, AIP Advances 8 (2018) 075207. <https://doi.org/10.1063/1.5033348>.
19. BEN AZIZA, Z.; ZÓLYOMI, V.; HENCK, H.; PIERUCCI, D.; SILLY, M.G.; AVILA, J.; MAGORRIAN, S.J.; CHASTE, J.; CHEN, C.; YOON, M.; XIAO, K.; SIROTTI, F.; ASENSIO, M.C.; LHUILLIER, E.; EDDRIEF, M.; FAL'KO, V.I.; OUEGHI, A. Valence band inversion and spin-orbit effects in the electronic structure of monolayer GaSe, Phys. Rev. B 98 (2018) 115405. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.98.115405>.
20. BUCHER, E. Photovoltaic Properties of Solid State Junctions of Layered Semiconductors, in: A. Aruchamy (Ed.), Photoelectrochemistry and Photovoltaics of Layered Semiconductors, Springer Netherlands, Dordrecht, 1992: pp. 1–81. https://doi.org/10.1007/978-94-015-1301-2_1.
21. AN, W.; WU, F.; JIANG, H.; TIAN, G.-S.; LI, X.-Z. Systematic investigation on topological properties of layered GaS and GaSe under strain, The Journal of Chemical Physics 141 (2014) 084701. <https://doi.org/10.1063/1.4893346>.
22. RASHBA, E.I.; STURGE, M.D.; RASBA, É.I. eds., Excitons: Selected chapters, Paperback ed, North-Holland, Amsterdam, 1987.
23. KISELEV, V.A.; RAZBIRIN, B.S.; URALTSEV, I.N. Additional waves and Fabry-Perot interference of photoexcitons (polaritons) in thin II–VI crystals, Physica Status Solidi (b) 72 (1975) 161–172. <https://doi.org/10.1002/pssb.2220720117>.