

**Odesa Polytechnic National University; Kyiv National University,
T. Shevchenko; Kharkiv National University of Radio Electronics;
National Aviation University; Odesa National University,
I.I. Mechnikov; Sumy State University; Admiral Makarov National
University of Shipbuilding; Lodz Technical University; Azerbaijan
State Oil Industry University; Anhalt University of Applied Sciences,
Caten, Germany; CEUR-WS.**

MATERIALS
of the International Scientific and Practical
Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent
Systems, Modeling, and Data-Driven Control"
(ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026
XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND
PRACTICAL CONFERENCE
"Information Control Systems and
Technologies - ICST-ODESA-2026"
22 - 24 of September 2026

УДК 004:37:001:62

П27

П27 **Передові** цифрові технології: інтелектуальні системи, моделювання та управління на основі даних (ADT-ISMDDC-2026) : матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні керуючі системи та технології - ICST-ODESA-2026», 22 - 24 вересень 2026 р. Одеса / вип. ред. В.В. Вичужанін. – Lviv-Torun : Liha-Pres, 2026. – 300 с. ISBN 978-966-397-656-3

DOI <https://doi.org/10.36059/978-966-397-656-3>

Збірник містить Матеріали, прийняті оргкомітетом до участі в Міжнародному науково-практичному семінару «Передові цифрові технології: інтелектуальні системи, моделювання та управління на основі даних» (ADT-ISMDDC-2026) на базі XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні керуючі системи та технології - ICST-ODESA-2026».

Наведені матеріали конференції охоплюють основні напрямки розвитку в області інформаційних систем управління, інтелектуальних систем і аналізу даних, моделювання.

УДК 004:37:001:62

ISBN 978-966-397-656-3

© Національний університет
«Одеська політехніка», 2026

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"



The collection contains materials accepted by the organizing committee for
participation of the International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and Data-Driven
Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND
PRACTICAL CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"
22 - 24 of September 2026

The materials of the conference cover the main directions of development in the field of artificial intelligence, development and analysis of big data, blockchain and crypto technologies, control systems in robotic systems, data security and cryptography, ICT in the network and administration, information systems and technologies in Data Mining, intelligent technologies management, mathematical modeling, methodology and didactics of teaching and using ICT, application development, project management. system analysis, software development. The conference materials were reproduced from the author's originals. The organizing committee of the conference expresses gratitude to all the participants of the conference and hopes for further fruitful cooperation.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"



The International Scientific and Practical Workshop

**Advanced Digital Technologies:
Intelligent Systems, Modeling,
and Data-Driven Control**
(ADT-ISMDDC-2026)

co-located with

XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE

"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"





INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMUNITY

The ADT-ISMDDC Workshop brings together researchers
from universities, research institutions, and industry around the world.


India


Jamaica


Kazakhstan


Canada


Ukraine


Algeria


United States


Austria


Kyrgyzstan


Georgia


Israel


Poland


Turkey


Bulgaria


Norway


Sweden


Slovakia


Egypt


Portugal


Czech Republic

International Program Committee

Prof. Antoshchuk Svetlana, Odesa Polytechnic National University (*Ukraine*);
 Prof. Vychuzhanin Vladimir, Odesa Polytechnic National University (*Ukraine*);
 Prof. Babichev Sergii, Kherson State University (*Ukraine*);
 As. Prof. Bobrovnikova, Kira Khmelnytsky National University (*Ukraine*);
 Prof. Cariow Aleksandr, West Pomeranian University of Technology (*Poland*);
 Prof. Semanisin Gabriel, Institute of Computer Science, P.J. Šafárik University
 (*Slovak Republic*);
 Prof. Kondratenko Yuriy, Petro Mohyla Black Sea National University (*Ukraine*);
 As. Prof. Kucher Kostiantyn Linköping University (*Sweden*);
 Prof. Levashenko Vitaly, University of Zilina (*Slovak Republic*);
 Prof. Melnyk Viktor, Department of Applied Computer Science Institute of
 Mathematics (*Poland*);
 Prof. Overmyer Scott, Illinois State University (*United States*);
 Prof. Pichugina Oksana, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute"
 (*Ukraine*);
 Prof. Tripathi Kumar Anil, Indian Institute of Technology (BHU), (*India*);
 As. Prof. Rudnichenko Nickolay, Odesa Polytechnic National University (*Ukraine*);
 Prof. Salem Abdel-Badeeh, Ain Shams University (*Egypt*);

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Prof. Subbotin Sergey, National University "Zaporizhzhia Polytechnic" (*Ukraine*);
Prof. Gustavo Ribeiro Alves, Polytechnic of Porto - School of Engineering
(*Portugal*);
As. Prof. Tyshchenko Oleksii (*Czech Republic*);
Prof. Ye Zhengmao, Southern University (*United States*);
Prof. Yin Hang, Southern University (*United States*).

International Program Committee – <https://icst-conf.com/>

Organising Committee

Vychuzhanin V., prof., Chair of the Organizing Committee, Odesa Polytechnic
National University (*Ukraine*);
Antoshchuk S., prof., Odesa Polytechnic National University (*Ukraine*);
Kunup T., as. prof., Odesa Polytechnic National University (*Ukraine*);
Bobrovnikova K., as. prof., Khmelnytsky National University (*Ukraine*);
Kosenko S., as. prof., Odesa Polytechnic National University (*Ukraine*);
Grishin S., as. prof., Odesa Polytechnic National University (*Ukraine*);
Potienko O., as. prof., Odesa Polytechnic National University (*Ukraine*);
Shibaeva N., as. prof., Odesa Polytechnic National University (*Ukraine*);
Rudnichenko N., as. prof., Odesa Polytechnic National University (*Ukraine*);
Vychuzhanin A., Odesa Polytechnic National University (*Ukraine*).

Technical committee

Committee secretaries:

Grishin S., as. prof., Odesa National Polytechnic University (*Ukraine*);
Rudnichenko M., as. prof., Odesa National Polytechnic University (*Ukraine*).

Committee members:

Lavruhin V., Odesa National Polytechnic University (*Ukraine*);
Chesnova N., Odesa National Polytechnic University (*Ukraine*).

Address: Shevchenko avenue, 1, Odesa, 65044, Ukraine
<https://www.facebook.com/groups/1297695647105081/>
Phone: +38 (048) 705-85-69
E-mail: icst_nuop@ukr.net, 126.ist.onpu@gmail.com

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

CONTENTS

Section 1. Intelligent systems and data-driven technologies

DETECTION AND CLASSIFICATION OF MILITARY-PURPOSE OBJECTS IN AEROSPACE IMAGERY USING YOLO NEURAL NETWORK ARCHITECTURES

Ph.D., V. Kashtan, Dr.Sci., V.Hnatushenko

Dnipro University of Technology, Ukraine.....18

DIAGNOSIS OF LUNG PATHOLOGY USING A HYBRID NEURONETWORK MODEL

Dr. Sci., M. Korablyov, O.Tkachuk, A. Levchuk

Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine.....21

METHOD FOR DETECTING PRESENTATION ATTACKS ON AUTHENTICATION SYSTEMS BASED ON KEYSTROKE DYNAMICS USING AUTOENCODERS

Y. Yezhova, Dr.Sci., Y. Bashkov

*State Higher Education Establishment "Donetsk National Technical University",
Ukraine*.....25

CYBERSECURITY ASSESSMENT OF 5G SEGMENTS BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND MACHINE LEARNING

Ph.D., M. Iavich¹, Dr.Sci., R.Odarchenko², Dr.Sci., S.Gnatyuk²

¹*Caucasus University, Georgia*

²*National University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine*.....27

DESIGN OF A LIGHTWEIGHT CNN-BASED DRIVER MONITORING SYSTEM FOR REAL-TIME GAZE-ZONE CLASSIFICATION AND HEAD- POSE ESTIMATION

Dr.Sci., J. Boiko¹, Ph.D., I. Pyatin²

¹*Khmelnytskyi National University, Ukraine,*

²*Khmelnytskyi Polytechnic Professional College by Lviv Polytechnic National
University, Ukraine*.....30

PRACTICAL APPLICATIONS OF TRACKING ALGORITHMS FOR INTERCEPTING UNMANNED AERIAL VEHICLES DETECTED IN THE INFRARED SPECTRUM

Dr.Sci., O. Zaritskyi, D. Ponzel

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine.....34

PREPARING STUDENTS FOR ICT JOBS: TEACHING MAJOR-SPECIFIC SUBJECTS WITH AI DEVSECOPS FRAMEWORK

Dr.Sci., D. Zubov¹, Dr.Sci., A. Kupin², Ph.D., S. Goundar³, Ph.D., M. Fayaz⁴

^{1,3,4}*University of Central Asia, Kyrgyz Republic,*

²*Kryvyi Rih National University, Ukraine*.....37

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION OF PCA AND T-SNE DIMENSIONALITY REDUCTION	
Dr.Sci., V. Romanuke, Dr.Sci., S. Merinova Vinnitsia Institute of Trade and Economics of the State University of Trade and Economics, Ukraine.....	40
ON DATA AUGMENTATION FOR RADIO FREQUENCY FOUNDATION MODELS	
D. Shyrman., Dr.Sci., V. Peschanenko Kherson State University, Ukraine.....	44
AUDITING DEEP LEARNING FOR CARDIAC MRI THROUGH SEMANTIC TRANSITIONS AND CONFLICT-AWARE PRODUCTION RULES	
Ph.D., P. Radiuk ¹ , Dr.Sci., O. Barmak ¹ , Dr.Sci., I. Krak ^{2,3} ¹ Khmelnytskyi National University, Ukraine, ² Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine, ³ V. M. Glushkov Institute of Cybernetics, Ukraine.....	46
DEFECTS EXTRACTION IN PCB IMAGES USING NUMBERS, COLORS AND MACHINE LEARNING	
R. Melnyk, Dr.Sci., O. Ivaniuk Lviv Polytechnic National University, Ukraine.....	50
PECULIARITIES OF GRAYSCALE IMAGES SEGMENTATION IN MULTIDIMENSIONAL SPACE OF INFORMATION FEATURES	
Dr.Sci., L. Akhmetshina, Ph.D., A. Yegorov Oles Honchar Dnipro National University, Ukraine.....	52
CONTEXT-AWARE ADAPTIVE DATA PROCESSING IN INTELLIGENT INFORMATION SYSTEMS	
M. Pisotskyi, Ph.D., A. Botchkaryov, Dr.Sci., V. Hlukhov Lviv Polytechnic National University, Ukraine.....	55
EDGE-SCALING SOFTENING OF A UNIVERSAL MACHINE-LEARNED POTENTIAL: POINT-DEFECT FORMATION ENERGIES IN A CORONENE GRAPHENE QUANTUM DOT	
A. Tuzhykov ¹ , Dr.Sci., V. Soloviev ^{1,3} , Dr.Sci., A. Kiv ^{1,2} , A. Bielinskyi ^{3,4} ¹ South Ukrainian National Pedagogical University named after K. D. Ushynsky, Ukraine, ² Ben-Gurion University of the Negev, Israel, ³ Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman, Ukraine, ⁴ State University of Economics and Technology, Ukraine.....	58
NEURAL NETWORK OPTIMIZATION FOR OBJECT CLASSIFICATION IN SENSOR-BASED ORE SORTING SYSTEMS	

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

D. Kondrashov, Ph.D., I. Muzyka, Ph.D., O. Markova, Ph.D., Yu. Kumchenko <i>Kyryvyi Rih National University, Ukraine</i>	61
TILEFUSION: EFFICIENT TILING FOR SMALL OBJECT DETECTION IN HIGH RESOLUTION AERIAL IMAGES	
Dr.Sci., V. Sineglazov, M. Savchenko <i>National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine</i>	63
APPLICATION OF NEURAL NETWORKS FOR COLOR INFORMATION CONVERSION	
Dr.Sci., B. Kovalskyi Ph.D., N. Zanko, A. Zanko, Ph.D., V. Bernatsek <i>Lviv Polytechnic National University, Ukraine</i>	66
DEVELOPMENT OF A HYBRID NEURAL NETWORK MODEL FOR SENSOR SIGNAL FORECASTING	
Ph.D., O. Laktionov ¹ , Ph.D., A. Yanko ² , Ph.D., S. Liubarskyi ³ <i>^{1,2}National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Ukraine, ³Military Institute of Telecommunications and Informatization Technologies named after Heroes of Kruty, Ukraine</i>	69
POST-TRAINING ADAPTIVE NEURAL NETWORK FOR EFFICIENT WEED SEGMENTATION	
Ph.D., K. Khabarлак <i>Dnipro University of Technology, Ukraine</i>	72
MULTI-PROVIDER RAG ARCHITECTURE FOR FLEXIBLE EDUCATIONAL CHATBOTS	
Ph.D., M. Tiahunova, Ph.D., H. Kyrychek, K. Filippenkov <i>National University Zaporizhzhia Polytechnic, Ukraine</i>	74
FACE RECOGNITION BY CIRCLE DISTRIBUTED HISTOGRAMS AND MACHINE LEARNING	
Y. Vipshovsky, Ph.D., Y. Hrytsiuk <i>Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine</i>	77
ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF NETWORK-BASED COMPUTER VISION SYSTEM FOR UNMANNED AND CONVENTIONAL VESSELS	
Dr. Sci., V. Mykhailenko ¹ , Dr.Sci., S. Artemenko ² , Ph.D., M. Iepik ³ , O. Zolotukhin ⁴ <i>¹ National University "Odesa Maritime Academy", Ukraine, ² Odessa National University of Technology, Ukraine, ³ Odessa I.I. Mechnikov National University, Ukraine, ⁴ Odessa National Maritime University, Ukraine</i>	79
SOFTWARE FOR SINGLE-STAGE DETECTION AND DEPTH ESTIMATION OF SUBSURFACE DEFECTS USING MODIFIED YOLOV12	

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

R. Havduskyi, Dr.Sci., L. Zhuravchak <i>Lviv Polytechnic National University, Ukraine</i>	82
CONCEPT OF CAMERA AND SONAR DATA ALIGNMENT FOR UNDERWATER OBJECT RECOGNITION	
Ph.D., N. Shybaieva ¹ , D. Shybaiev ² ¹ <i>Odesa Polytechnic National University, Ukraine,</i> ² <i>"Server" College, Ukraine</i>	85
PLANT DISEASE IDENTIFICATION FROM IMAGES USING MACHINE LEARNING ALGORITHMS	
Dr.Sci., S. Antoshchuk, Ph.D., T. Kunup, O. Kravchenko <i>Odesa Polytechnic National University, Ukraine</i>	88
SYNTHESIS OF AN ADAPTIVE AUTOMATED ENERGY EFFICIENCY CONTROL SYSTEM BASED ON DEEP LEARNING	
M. Podolinskyi, Dr.Sci., V. Vychuzhanin <i>Odesa Polytechnic National University, Ukraine</i>	92
NOISE DETECTION IN HISTOPATHOLOGY IMAGES FOR THYROID TUMOR DIAGNOSIS	
Dr.Sci., O.Chumachenko, R. Tsymbaliuk <i>National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine</i>	94
ENFORCING MODULAR ARCHITECTURE IN AI-DRIVEN APP DEVELOPMENT	
Ph.D., O. Potiienko, Ph.D., S. Kosenko <i>Odesa Polytechnic National University, Ukraine</i>	97
EFFICIENT RGB-THERMAL FUSION FOR UAV-BASED CROWD DETECTION	
Ph.D., N. Bilous ¹ , S. Kaluhin ¹ , V. Ivanichev ¹ , Dr.Sci., I. Korobiichuk ² ¹ <i>Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine,</i> ² <i>Warsaw University of Technology, Poland</i>	99
INTELLIGENT ASSESSMENT FRAMEWORK FOR AI-ENABLED INDUSTRIAL ECONOMIC RESILIENCE	
Ph.D., L. Vasylyeva <i>Kyiv National Economic University named after V. Hetman, Ukraine</i>	103
AN INTEGRATED PIPELINE FOR LABORATORY ANIMAL DETECTION, TRACKING, AND END-TO-END IDENTIFICATION	
Ph.D., N. Volkova, M. Shvandt <i>Odesa National Polytechnic University, Ukraine</i>	105

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

**APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES FOR
 PREDICTING SALT DEPOSITION IN WELLS AND FLOWLINES AT
 UNDERGROUND GAS STORAGE FACILITIES**

Ph.D., V. Volovetskyi¹, Dr.Sci., P. Raiter², O. Shchyrb³, Dr.Sci., Y. Romanyshyn⁴

¹*Branch R&D Institute of Gas Transportation Joint Stock Company «Ukrtransgaz»,
 Ukraine,*

^{2,4}*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine,*

³*Branch Ukrainian Scientific Research Institute of Natural Gases Public Joint Stock
 Company «Ukrasvydobuvannya», Ukraine.....110*

**METHODS OF USING CONDITIONAL GENERATIVE ADVERSARIAL
 NETWORKS TO BALANCE IMBALANCED SAMPLES IN IMAGE
 RECOGNITION COMPUTER VISION SYSTEMS**

K. Mikhalev, Ph.D., A. Nikolenko, Ph.D., O. Babilunha

Odesa Polytechnic National University, Ukraine.....113

**NEURAL NETWORK-BASED DISCRIMINATIVE FEATURE FORMATION
 AND AGGREGATION FOR FINE-GRAINED IMAGE CLASSIFICATION**

A. Kusakov, Dr.Sci., A. Oliinyk, Ph.D., T. Kolpakova, O. Lukovka

National University "Zaporizhzhia Polytechnic", Ukraine.....116

**THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO SUPPORT INCLUSIVE
 EDUCATION**

Ph.D., N. Brynza, D. Tarasova

Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Ukraine.....119

**EFFECTIVENESS ASSESSMENT OF A CLASSICAL IMAGE
 PROCESSING PIPELINE AND YOLOv5s FOR AERIAL OBJECT
 DETECTION**

Ph.D., K. Merkulova, Ph.D., Y. Zhabska, D. Kalytovskyi

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine.....123

INTERMEDIAL APPROACHES IN MEDIA DESIGN

Ph.D., T. Holubnyk, Ph.D., O. Borysenko

Lviv Polytechnic National University, Ukraine.....126

**ROLE-ORIENTED DESIGN PRINCIPLES FOR A TEACHER-
 CONTROLLED MULTI-AGENT WORKFLOW FOR DIFFERENTIATED
 LEARNING MATERIALS**

V. Dukova

Technical University of Varna, Bulgaria.....129

**RESEARCH ON THE IMPACT OF RAG SYSTEM CONFIGURATION ON
 THE QUALITY OF LARGE LANGUAGE MODEL RESPONSES**

I. Bannick¹, Ph.D., N. Rudnichenko², Dr.Sci., I. Petrov³

¹*Interregional Academy of Human Resource Management, Ukraine,*

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

² Odessa Polytechnic National University, Ukraine,	
³ Odessa Maritime Academy National University, Ukraine	132
ANALYSIS OF SYNTHESIS METHODS FOR ADAPTIVE	
ARCHITECTURE OF INTELLIGENT AGENTS FOR AUTOMATED	
CONTROL OF RECOGNITION PROCESSES	
A. Zlenskyi	
Odessa Polytechnic National University, Ukraine.....	134
HYBRID DEEP LEARNING MODELS OPTIMIZATION CONSTRUCTION	
PROCESS CONCEPT FOR FINANCIAL FORECASTING TASKS	
Ph.D., N. Rudnichenko, D. Shvedov, Ph.D., T. Otradska	
Odessa Polytechnic National University, Ukraine.....	137
APPROACHES TO HYBRIDIZING DEEP LEARNING MODEL	
PROCESSES FOR FINANCIAL RISK ASSESSMENTS	
D. Shvedov	
Odessa Polytechnic National University, Ukraine.....	140
CONCEPT OF CAMERA AND SONAR DATA ALIGNMENT FOR	
UNDERWATER OBJECT RECOGNITION	
K. Shumeiko	
Odessa Polytechnic National University, Ukraine.....	142
INTEGRAL ASSESSMENT OF INFORMATION SYSTEMS DATA	
QUALITY BASED ON THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS	
D. Bilousov	
Odessa Polytechnic National University, Ukraine.....	145
COMPARATIVE ANALYSIS OF VISION-LANGUAGE MODELS FOR	
INFRASTRUCTURE DAMAGE CLASSIFICATION: A CASE STUDY OF	
UKRAINE	
K. Bieliaiev, V. Oliinyk, A. Baranova	
Odesa Polytechnic National University, Ukraine.....	148
DEEPPAKE IDENTIFICATION THROUGH FEATURE SPACE	
CONSTRUCTION FOR BASE AND ENSEMBLE CLASSIFIERS	
O. Andronati	
Odesa Polytechnic National University, Ukraine.....	151
SIMULATION OF NEUTRON MODERATION SPECTRA IN A	
HETEROGENEOUS CHANNEL-TYPE THORIUM-CARBON FISSION	
MEDIUM	
V. Lavrukhin	
Odesa Polytechnic National University, Ukraine.....	154
SYNTHESIS OF A CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK WITH AI-	
ASSISTANT FOR AUTOMATED IMAGE MONITORING	

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Ph.D., R. Kharchenko O. Soloviov <i>National University "Odesa Maritime Academy", Ukraine</i>	157
A HYBRID MODEL OF DYNAMIC USER SEGMENTATION AND MULTI-BEHAVIOR RANKING FOR MARKETING RECOMMENDATIONS	
Y. Nesterenko, Ph.D., I. Kyrychenko <i>Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine</i>	159
ALTERNATIVE METHODS OF MOTION DETECTION IN WILDLIFE OBSERVATION SCENARIOS	
I. Lysikov, Ph.D., O. Rudenko <i>Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine</i>	162
MATHEMATICAL MODEL OF IZHIKEVICH NETWORK DYNAMICS	
Dr.Sci., D. Kliushyn, O. Maistrenko <i>Taras Shevchenko National University, Ukraine</i>	164
<u>Section 2. Control, robotics, and distributed systems</u>	
OPTICAL COMPUTING ARCHITECTURE FOR DECISION SUPPORT IN TRANSPORT CONTROL PROCESSES	
Dr.Sci., V. Timchenko ¹ , Dr.Sci., V. Kreinovich ² , Dr.Sci., Yu. Kondratenko ³ , O. Iegorov ⁴ ^{1,4} <i>Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Ukraine,</i> ² <i>University of Texas at El Paso, USA,</i> ³ <i>Petro Mohyla Black Sea National University, Ukraine</i>	167
MINIMUM STATE SPACE COVERAGE AS AN ANOMALY LOCALIZATION PROBLEM IN STOCHASTIC SYSTEMS	
Ph.D., D. Symonov, Dr.Sci., O. Palagin, Y. Symonov, B. Zaika <i>V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine, Ukraine</i>	170
NEUROCONTROLLERS IN AUTONOMOUS ROBOTICS: TRAINING METHODS AND CONTROL SCHEMES	
Dr.Sci., A. Kargin ¹ , Ph.D., T. Petrenko ² , Ph.D., O. Piatykov ³ , Ph.D., O. Pronina ⁴ ^{1,2} <i>Ukrainian State University of Railway Transport, Ukraine,</i> ^{3,4} <i>Pryazovskyi State Technical University Ukraine</i>	173
ADAPTIVE NEURAL NETWORK CONTROL OF A MOBILE PLATFORM USING COMPUTER VISION	
T. Kovaliv, Ph.D., Y. Pelekh, Dr.Sci., I. Tsmots <i>Lviv Polytechnic National University, Ukraine</i>	175
DEVELOPMENT OF VECTOR COMBINATORIAL COMPUTER TECHNOLOGY AS AN ALTERNATIVE FOR QUANTUM ONE	
Dr.Sci., V. Riznyk ¹ , Ph.D., M. Solomko ² , Y. Bilas ³ , M. Hladchuk ⁴ ¹ <i>Lviv Polytechnic National University, Ukraine,</i> ² <i>National University of Water and Environmental Engineering, Ukraine,</i>	

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

^{3,4} Lviv Polytechnic National University, Ukraine.....	178
3D COMPUTER VISION SYSTEM FOR AUTOMATED WASTE GRASPING AND SORTING BY MOBILE ROBOTS	
Ph.D., N. Boyko	
Lviv Polytechnic National University, Ukraine,	
Lviv National Stepan Gzhytsky University of Veterinary Medicine and Biotechnology, Ukraine.....	181
CHANNEL SUPPORT IN HYBRID CONTROL OF A ROBOTIC SYSTEM	
Ph.D., A. Yarmilko, S. Marchenko	
Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy, Ukraine.....	185
DEVELOPMENT OF A WEB APPLICATION FOR INTELLIGENT ANALYSIS OF THE COMPOSITION OF COSMETIC PRODUCTS USING OCR AND NLP ALGORITHMS	
Ph.D., A. Serhiienko, Ph.D., E. Balalayeva, A. Martynova, V. Suslov	
Pryazovskyi State Technical University, Ukraine.....	189
VERIFICATION-GUIDED PRUNING FOR SAFETY-CRITICAL LSTM NETWORKS	
O. Mostovyi ¹ , Ph.D., T. Biloborodova ²	
¹ V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine, Ukraine,	
² G.E. Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering of the NAS of Ukraine, Ukraine.....	192
SYSTEM ANALYSIS AND MODELING OF CONTROL PROCESSES IN MULTI-AGENT COMPLEXES UNDER STOCHASTIC UNCERTAINTY	
S. Seleznov, Dr.Sci., V. Vychuzhanin	
Odesa Polytechnic National University, Ukraine.....	195
ANALYSIS OF CONFLICT ENVIRONMENTS AND RESOURCE CONSTRAINTS IN STOCHASTIC CONTROL PROBLEMS	
D. Kobylanskyi, Dr.Sci., V. Vychuzhanin	
Odesa Polytechnic National University, Ukraine.....	198
CONTACTLESS CONTROL INTERFACES IN COMPUTER-INTEGRATED ENVIRONMENTS BASED ON WI-FI SIGNAL ANALYSIS	
O. Karatanas	
Odesa Polytechnic National University, Ukraine.....	201
ANALYSIS OF INTELLIGENT MODELS FOR THE SYNTHESIS OF AUTOMATED RESOURCE MANAGEMENT SYSTEMS FOR IOT NETWORKS	
V. Kiporuk	
Odessa Polytechnic National University, Ukraine.....	204

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Section 3. Digital platforms, security, and ICT infrastructure

**PERFORMANCE METRICS-BASED EVALUATION OF TOOLS FOR API
 CRUD LOAD TESTING**

M. Mendieliyeva, Ph.D., S. Khlamov, Ph.D., O. Vovk, T. Trunova, S. Lytvynenko
^{1,2,3,4,5}*Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine*.....207

**A VIDEO STREAM ENCRYPTION ALGORITHM THAT DOES NOT
 PROPAGATE ERRORS**

Dr.Sci., L. Kovalchuk, Dr.Sci., S. Hilgurt, Ph.D., H. Nelasa
*G.E. Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering of the NAS of Ukraine,
 Ukraine*.....210

**THE USE OF DIGITAL COLLABORATION TO IMPROVE THE
 COMMUNICATIVE SKILLS OF MARINE ENGINEERS IN REMOTE,
 NETWORK-BASED ENVIRONMENT**

Dr. Sci., A. Yurzhenko¹, Dr.Sci., L. Perminova², O. Kononova³
¹*Kherson State Maritime Academy, Ukraine,*
²*Kherson State university, Ukraine,*
³*Maritime Applied College of Kherson State Maritime Academy, Ukraine*.....212

**HIERARCHICAL STRUCTURE OF A DIGITAL IMAGE AS A BASIS FOR
 STEGANOGRAPHIC COVER BLOCK SELECTION**

Dr.Sci., I.Bobok, Ph.D., S. Hryhorenko
Odesa Polytechnic National University, Ukraine.....215

**SIMULATION-BASED ASSESSMENT OF DATA VERIFICATION
 EFFECTS ON THE ROBUSTNESS OF ADAPTIVE MARITIME ROUTE
 OPTIMISATION AGAINST SPOOFING ATTACKS**

P. Kalenyk¹, Dr.Sci., V. Vychuzhanin
Odesa Polytechnic National University, Ukraine.....217

**INVESTIGATING THE EFFECT OF EXPLANATIONS ON TRUST IN AI
 DURING AUTOMATED CODE REVIEW**

V. Petrenko, Dr.Sci., O. Gurko
Kharkiv National Automobile and Highway University, Ukraine.....220

**SEQUENTIAL INTEGRITY VERIFICATION MECHANISM FOR DIGITAL
 TWIN TELEMETRY BASED ON CRYPTOGRAPHIC PACKET CHAINING**

Ph.D., I. Rozlomii, Ph.D., S. Naumenko
Cherkasy State Technological University, Ukraine.....222

**LORAWAN IN AVIATION: A COMPREHENSIVE ANALYSIS OF CYBER
 THREATS AND RESILIENCE STRATEGIES**

Y. Tertus, D. Kozlovskya, B. Kotyk
State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine.....225

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Section 4 Modeling, software engineering, and applied ICT

**INFORMATION AND COMPUTATIONAL MODEL FOR EVALUATING
 LASER EXPOSURE PARAMETERS IN TRANSSCLERAL
 CYCLOPHOTOCOAGULATION**

Dr.Sci., V. Vychuzhanin¹, Ph.D., O. Guzun², Ph.D., A. Vychuzhanin³

^{1,3}*Odessa Polytechnic National University, Ukraine*

²*ISI "The Filatov Institute of Eye Diseases and Tissue Therapy of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Ukraine.....229*

**METHOD FOR VERIFYING THE ACCURACY OF DYNAMIC SYSTEM
 MODEL CALCULATIONS**

Dr.Sci., S. Polozhaenko, L. Prokofieva, Ph.D., A. Prokofiev, Ph.D., A. Savieliev

Odesa Polytechnic National University, Ukraine.....235

**AUTOMATED SYMBOLIC-TO-VISUAL PIPELINE FOR SURFACE FLUX
 TASK GENERATION AND VERIFICATION IN ENGINEERING
 EDUCATION**

Dr.Sci., H. Tuluchenko¹, Dr.Sci., Yu. Pershyna¹, Dr.Sci., V. Mezhyuev²

¹ *National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Ukraine,*

² *FH JOANNEUM University of Applied Sciences, Austria.....237*

**FRACTIONAL-ORDER MODELLING OF TEXTURE CHANGES AND
 POROELASTIC STATE OF IRRIGATED SOILS WITH SIGNIFICANT
 NON-LOCAL INTERACTIONS**

Dr.Sci., V. Bohaienko¹, Dr.Sci., M. Romashchenko², Ph.D., T. Blagoveshchenskaya³

¹ *VM Glushkov Institute of Cybernetics of NAS of Ukraine, Ukraine,*

² *Institute of Water Problems and Land Reclamation of NAAS of Ukraine, Ukraine,*

³ *VM Glushkov Institute of Cybernetics of NAS of Ukraine, Ukraine.....240*

**MATHEMATICAL MODELING AND SIMULATION OF NON-
 STATIONARY ELECTRON TRANSPORT IN PLANE NANOSTRUCTURES**

V. Hykava¹, Dr.Sci., I. Boyko¹, Dr.Sci., Y. Seti²

¹ *Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ukraine*

² *Lviv Polytechnic National University, Ukraine.....243*

**GAMIFIED SIMULATION SYSTEMS FOR HIGHER EDUCATION:
 INTEGRATING AI, VR, AND SMART PLATFORMS**

Ph.D., V. Nazarenko, Ph.D., O. Zazymko, Dr.Sci., L. Klikh, E. Funderburk

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Ukraine,

Twisted Time Studios, Vancouver, Canada.....245

**FORECAST SCENARIOS FOR IMPLEMENTING THE SUSTAINABLE
 DEVELOPMENT STRATEGY OF UKRAINE'S CONSTRUCTION SECTOR
 BY 2030 BASED ON THE CLUSTER-CIRCULAR MODEL**

Dr.Sci., V. Bozhanova, Dr.Sci., O. Kononova

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

<i>Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", Ukraine.....</i>	248
MODEL-BASED SELECTION OF AN INVERTER SUBSYSTEM CONFIGURATION FOR A BACKUP POWER SUPPLY SYSTEM UNDER PARTIAL-LOAD OPERATION	
Ph.D., O. Zgurovets, Dr.Sci., O. Dekusha, Ph.D., D. Matushkin, Dr.Sci., A. Zaporozhets	
<i>The General Energy Institute of the NAS of Ukraine, Ukraine.....</i>	251
ROBUST STEGANOSYSTEM AS THE FOUNDATION OF INFORMATION SECURITY FOR MASS CONTROL CHANNELS	
Dr.Sci., A. Kobozieva, K. Tryfonova, Ph.D., O. Lebedieva , Ph.D., V. Zorilo	
<i>Odesa National Maritime University, Ukraine.....</i>	254
INTELLIGENT CROSSPLATFORM FREIGHT MANAGEMENT SYSTEM BASED ON MATHEMATICAL METHODS OF OPERATIONS RESEARCH	
Dr.Sci., Y. Petrivskyi ¹ , S. Shmatiuk ¹ , Ph.D., V. Petrivskyi ²	
¹ Rivne State Humanitarian University, Ukraine, ² Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine.....	257
THE ISSUES OF WEB APPLICATION DESIGN FOR LOGISTICS PROCESSES MODELING BASED ON PETRI NETS	
Ph.D., D. Bondarenko, Dr.Sci., L. Gryzun	
<i>Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Ukraine.....</i>	260
VOXEL-BASED MODELING OF THE EFFECT OF NON-UNIFORM FIBER DISTRIBUTION ON THE ELASTIC PROPERTIES OF FIBER-REINFORCED COMPOSITES	
V. Zhykhariev, Ph.D., M. Shapovalova, Ph.D., S. Misiura, Ph.D., O. Vodka	
<i>National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Ukraine.....</i>	263
LAYOUT AND FRAME STRUCTURES OF THE HTTP PROTOCOL IN ASYNCHRONOUS AJAX EXECUTIONS ACROSS VARIOUS WEB FRAMEWORKS	
N. Rudnikova, Dr.Sci., O. Barabash	
<i>National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine.....</i>	266
MATHEMATICAL MODELING OF THE FORMATION PROCESS OF BRAILLE ELEMENTS ON PACKAGING BOARD	
Ph.D., V. Mayik, Ph.D., L. Mayik, Ph.D., B. Havrysh	
<i>Lviv Polytechnic National University, Ukraine.....</i>	267
A CONCEPT OF USING GRAPH FORMAT OF INFORMATION ORGANIZATION FOR CONDUCTING DISCOURSES	
A. Sidielnikova, Ph.D., N. Rudnichenko	
<i>Odesa Polytechnic National University, Ukraine.....</i>	269
ASSESSING THE ATTAINABLE HEAD-ROOM OF EVENT-TRIGGERED ROUTE RE-PLANNING IN DYNAMIC TRANSPORT FLOWS	

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

D.Tolkunov <i>Odesa Polytechnic National University, Ukraine</i>	272
EVALUATION OF THE ACCURACY OF DYNAMIC SYSTEM MODELING BASED ON ERROR RANKING	
O. Tataryn, A. Chmelevskiy, D. Filin, Y. Serbin <i>Odesa Polytechnic National University, Ukraine</i>	275
TWO-DIMENSIONAL IMAGES OF QUADRATIC VOLTERRA MODELS OF THE OCULOMOTOR SYSTEM IN DIAGNOSTIC STUDIES	
Dr.Sci. V. Pavlenko, A. Doroshuk <i>Odesa Polytechnic National University, Ukraine</i>	278
STATISTICAL COMPARISON OF REGRESSION MODELS FOR MAGNETIC ORE QUALITY PREDICTION ON A CONVEYOR-LINE SORTING SYSTEM	
B. Kiselov, Ph.D., A. Senko, Dr.Sci., S. Semerikov, Ph.D., D. Kuznetsov <i>Kryvyi Rih National University, Ukraine</i>	281
METHODOLOGY FOR BUILDING A DIGITAL TWIN OF AN IOT SYSTEM	
Y. Shcherbyna, Ph.D., I. Shpinareva <i>Odesa I.I. Mechnikov National University, Ukraine</i>	285
A METHOD FOR CONSTRUCTING A STRATIFIED TEST SET OF REAL-WORLD UML DIAGRAMS	
V. Polishchuk, Ph.D., V. Skidan <i>Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine</i>	287
OPPORTUNITIES FOR ADAPTIVE CONTROL OF A DOOR LOCK ASSEMBLY PROCESS	
I. Iliev, D. Mihaylova, R. Parvanova, D. Dzhibarov <i>Technical University of Varna, Bulgaria</i>	289
INTELLIGENT ANALYSIS OF HETEROGENEOUS DATA IN PROACTIVE ENERGY MANAGEMENT SYSTEMS OF SMART OBJECTS	
Dr.Sci., O. Arsirii ¹ , Dr.Sci., V. Arsirii ² , A. Zasidko ³ , I. Krantovskiy ⁴ ^{1,3,4} <i>Odesa Polytechnic National University, Ukraine,</i> ² <i>Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Ukraine</i>	292
INFORMATION SYSTEM FOR OPTIMIZATION-BASED DESIGN AND EVALUATION OF MULTIDIMENSIONAL SIGNAL CONSTELLATIONS	
Dr.Sci., A. Chuhai ^{1,2} , Dr.Sci., G. Yaskov ^{1,3} , K. Veretelnyk ² , M. Shcherbyna ¹ ¹ <i>Anatolii Pidhorniy Institute of Power Machines and Systems NASA, Ukraine,</i> ² <i>Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Ukraine,</i> ³ <i>Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine</i>	295

**SECTION 1. INTELLIGENT SYSTEMS AND DATA-DRIVEN
TECHNOLOGIES**

UDC 004.89

**DETECTION AND CLASSIFICATION OF MILITARY-PURPOSE
OBJECTS IN AEROSPACE IMAGERY USING YOLO NEURAL
NETWORK ARCHITECTURES**

Ph.D., V. Kashtan ^{1[0000-0002-0395-5895]}, **Dr.Sci., V. Hnatushenko** ^{2[0000-0003-3140-3788]}

Dnipro University of Technology, Ukraine

EMAIL: ¹vitalionkaa@gmail.com; ²vvgnat@ukr.net

**РОЗПІЗНАВАННЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТІВ
ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА АЕРОКОСМІЧНИХ
ЗОБРАЖЕННЯХ З ВИКОРИСТАННЯМ АРХІТЕКТУР
НЕЙРОМЕРЕЖ YOLO**

Ph.D., В. Каштан, Dr.Sci., В. Гнатушенко

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Україна

***Анотація.** У роботі досліджено точність розпізнавання об'єктів військового призначення на аерокосмічних зображеннях із застосуванням чотирьох архітектур нейронних мереж: YOLOv5, YOLOv8, YOLOv9 та YOLOv11, навчених на власному наборі даних обсягом 2422 зображення, розподілених на чотири класи техніки. Встановлено, що архітектура YOLOv8 забезпечує вищу точність даних, тоді як для окремих класів техніки, зокрема танків і вантажівок, точність розпізнавання залишається суттєво нижчою в усіх досліджених архітектурах.*

***Ключові слова:** розпізнавання, аерокосмічні знімки, YOLO, транспортні засоби, військові об'єкти, глибинне навчання*

***Abstract.** This paper investigates the recognition accuracy for military-purpose objects in aerospace imagery using four neural network architectures: YOLOv5, YOLOv8, YOLOv9, and YOLOv11, trained on a custom dataset of 2422 images spanning four vehicle classes. It was established that the YOLOv8 architecture achieves higher recognition accuracy, whereas for individual vehicle classes, particularly tanks and trucks, recognition accuracy remains substantially lower across all investigated architectures.*

***Keywords:** recognition, aerospace imagery, YOLO, military object, deep learning*

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Automated detection and classification of military vehicles in aerospace imagery are a critical component of modern intelligence, surveillance, and reconnaissance (ISR) systems. In practical applications, it is not sufficient to assign a generic "military vehicle" label; tactical decision-making requires identifying the specific vehicle type, such as a tank, truck, or jeep. YOLO-based deep learning models perform object localization and class prediction in a single forward pass, but their type-level classification performance under realistic, domain-specific, and class-imbalanced conditions remains insufficiently studied. This task is further complicated by small object size, arbitrary orientation, vegetation occlusion, camouflage, and complex backgrounds.

This study presents a controlled comparison of four YOLO architectures (YOLOv5, YOLOv8, YOLOv9, and YOLOv11) using a custom aerospace military vehicle dataset. The dataset includes 2422 images collected from open sources and annotated in CVAT with oriented bounding boxes (OBBs) to represent vehicles with arbitrary orientation. After removing non-vehicle labels and merging duplicate class names, four relevant classes were retained: military-vehicle, tank, truck, and jeep. The dataset was divided into training, validation, and test subsets comprising 1700, 480, and 242 images, respectively.

Figure 1 illustrates a fragment of a detection scenario on a coastal scene containing three ground-truth military trucks and a group of dismounted personnel. Figure 2 quantifies the outcome per architecture (TP/FP/FN, F1-score). YOLOv9 and YOLOv11 achieved a perfect result (TP=3, FP=0, FN=0, F1=1.00); YOLOv8_s detected all three trucks but produced two false positives (F1=0.75); YOLOv5 detected none (F1=0.00). No architecture produced false positives on the dismounted-personnel group, confirming reliable discrimination between vehicle and non-vehicle objects even when type-level recall was incomplete.

In Table 1, YOLOv9 and YOLOv11 achieved a perfect result on this representative scene, correctly detecting all three trucks with zero false positives and zero missed detections (F1 = 1.00). YOLOv8_s also detected all three trucks (zero false negatives) but additionally produced two false-positive detections elsewhere in the scene, reducing its F1-score to 0.75. YOLOv5 failed to detect any of the three trucks, resulting in three false

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

negatives and an F1-score of 0.00. Notably, no architecture produced false positives on the dismounted-personnel group present in the same scene, confirming reliable discrimination between vehicle and non-vehicle objects even where truck-detection recall was incomplete.



COMPARATIVE DETECTION RESULTS:

YOLOv11: TRUCK: 3 (Total: 3)	YOLOv8_s: TRUCK: 5 (Total: 5)
YOLOv9: TRUCK: 3 (Total: 3)	YOLOv5: No detections

Figure 1. Fragment of comparative detection results on a coastal scene with multiple military trucks

Table 1. Scene-level detection outcome (coastal scene, 3 ground-truth trucks)

Model	TP	FP	FN	F1-score
YOLOv11	3	0	0	1.00
YOLOv9	3	0	0	1.00
YOLOv8_s	3	2	0	0.75
YOLOv5	0	0	3	0.00

This study compared four YOLO architectures (YOLOv5, YOLOv8, YOLOv9, YOLOv11) for military vehicle detection in aerospace imagery using a custom dataset. YOLOv9 and YOLOv11 achieved perfect detection ($F1 = 1.00$), YOLOv8_s achieved full recall with two false positives ($F1 = 0.75$), and YOLOv5 detected none ($F1 = 0.00$), showing that architectural choice meaningfully affects the trade-off between missed detections and false positives.

**International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"**

References

1. Terven, J., Córdova-Esparza, D.-M., & Romero-González, J.-A. (2023). A comprehensive review of YOLO architectures in computer vision: From YOLOv1 to YOLOv8 and YOLO-NAS. Machine Learning and Knowledge Extraction, 5(4), 1680–1716. <https://doi.org/10.3390/make5040083>.

UDC 004.89

**DIAGNOSIS OF LUNG PATHOLOGY USING A HYBRID
NEURONETWORK MODEL**

**Dr. Sci., M. Korablyov¹[0009-0005-2540-7741], O. Tkachuk²[0009-0006-2943-9887],
A. Levchuk³[0009-0005-3702-0069]**

Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine
EMAIL: ¹mykola.korablyov@nure.ua, ²oleksandr.tkachuk@nure.ua,
³artem.levchuk@nure.ua

**ДІАГНОСТИКА ПАТОЛОГІЇ ЛЕГЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ
ГІБРИДНОЇ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОЇ МОДЕЛІ**

Dr.Sci., М. Корабльов, О. Ткачук, А. Левчук
Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна

Анотація. Для підвищення ефективності діагностики патології легень запропоновано гібридну модель, яка використовує: дендритну штучну імунну мережу для сегментації всіх клітинних ядер, що містяться в гістопатологічному зображенні, та формування графа взаємозв'язків клітин; графову згорткову нейронну мережу для вилучення ознак просторової структури клітин графу; загорткову нейронну мережу для вилучення семантичних ознак із зображення. Проведені експериментальні дослідження підтверджують ефективність запропонованої моделі.

Ключові слова: обробка зображень, патологія легень, аденокарцинома, діагностика, машинне навчання

Abstract. To increase the efficiency of lung pathology diagnosis, a hybrid model is proposed that uses: a dendritic artificial immune network for segmentation of all cell nuclei contained in the histopathological image and formation of a graph of cell relationships; graph convolutional neural network for extracting features of the spatial structure of graph cells; convolutional neural networks for extracting semantic features from an image. The experimental studies conducted confirm the

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

effectiveness of the proposed model.

Keywords: image processing, lung pathology, adenocarcinoma, diagnostics, machine learning

Рак легень входить до числа провідних онкологічних захворювань і становить серйозну загрозу для здоров'я та життя людини [1]. Найпоширенішим гістопатологічним типом раку легень є аденокарцинома, на яку припадає найбільша кількість випадків раку легень. Точне визначення типів росту та пропорцій аденокарциноми за допомогою повнослайдового зображення (WSI) [2] має вирішальне значення для діагностики, лікування та прогнозу. Однак традиційні методи дозволяють лише оцінити, але не визначити кількісно ступінь захворювання легень. Використання технології WSI та комп'ютерної діагностики забезпечує більш ефективну стратегію діагностики аденокарциноми легень, допомагаючи патологам швидко поставити діагноз і створюючи основу для подальшого лікування.

У діагностиці патології легень, зокрема аденокарциноми, важливою є кількісна оцінка закономірностей росту тканин за гістопатологічними зображеннями. Для цієї мети можна використовувати згорткові нейронні мережі, але вони не враховують просторові та часові зв'язки між ознаками на зображенні, що знижує точність прогнозування. Згідно з цим доцільно розробити нейромережеву модель для діагностики патології легень, яка б одночасно враховувала як просторові (структурні), так і семантичні ознаки захворювання легень.

У роботі пропонується гібридна модель глибокого навчання для діагностики аденокарциноми легень (рис. 1), яка поєднує переваги графових згорткових мереж (GCN) та згорткових нейронних мереж (CNN) у гістопатологічному аналізі.

Весь процес розпізнавання складається з трьох частин.

1. Модуль GCN. Для сегментації всіх клітинних ядер, що містяться в гістопатологічній ділянці, використовується модель штучної дендритної імунної мережі (DaiNet) [3]. За допомогою DaiNet витягуються ядерні ознаки та формується граф зв'язків, який використовується як вхідні дані для GCN, що застосовується для вилучення ознак просторової структури клітин.

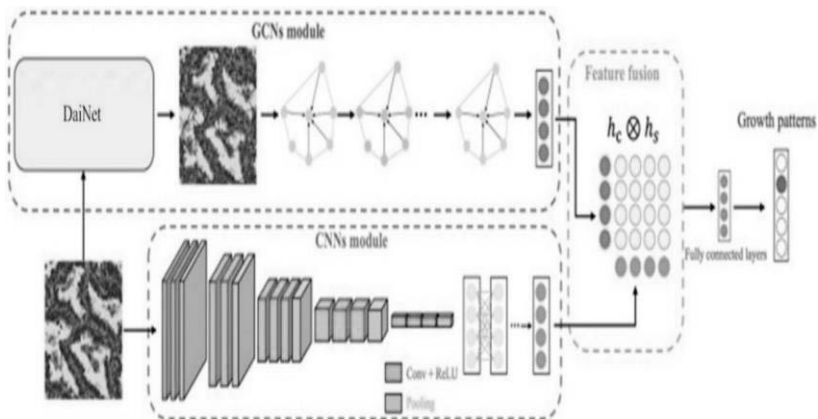


Рисунок 1. Архітектура запропонованої гібридної нейронної мережі для розпізнавання патології легень

2. Модуль CNN. Семантичні ознаки витягаються за допомогою CNN, зокрема, нейронної мережі EfficientNetB3 [4].

3. Об'єднання ознак. Просторові структурні ознаки з модуля GCN та семантичні ознаки з модуля CNN об'єднуються для визначення типу захворювання легень.

Після агрегації мультимодальних ознак використовується повнозв'язний шар наступної операції з ознаками. Крім того, для обмеження частки об'єднання різних модальних ознак використовується механізм уваги на основі стробування.

Головним завданням сегментації ядра є виділення різних ядер, що містяться у фрагменті вхідного зображення, який включає нормальні клітини, пухлинні клітини та клітини сполучної тканини, що підтримують функціонування інших клітин. Ядра клітин, отримані в результаті сегментації ядра, потім будуються у вигляді графа та подаються до модуля GCN для отримання просторових ознак.

Метою CNN є кодування семантичних ознак усього фрагмента зображення, які можна використовувати для отримання загальної інформації, що міститься в зображенні, а також додаткової інформації

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

про просторову структуру комірок. У роботі як екстрактор ознак було використано CNN EfficientNetB3 [4], що складається зі згорткових шарів, ReLU, максимального об'єднання та повністю зв'язаного шару.

У моделі гілки GCN та CNN виявляють різні типи ознак: ознаки структури клітин витягуються як вузли та ребра за допомогою GCN, а ознаки семантичного зображення витягуються як набір карт ознак за допомогою CNN. Для інтеграції цих мультимодальних ознак використано добуток Кронекера як метод об'єднання ознак для.

Були проведені експериментальні дослідження з використанням набору гістопатологічних зображень, який містить дані, отримані від пацієнтів з аденокарциною легень. Усі зразки представляють післяопераційну патологію, включаючи препарати пухлинної тканини, препарати нормальної тканини та препарати, що містять межу між нормальною та пухлинною тканинами. Результати показують, що запропонована модель здатна краще ідентифікувати ознаки, які дозволяють нам оцінити закономірності росту аденокарциноми.

Література

1. Leiter, A., Veluswamy, R. R., Wisnivesky, J. P. The global burden of lung cancer: current status and future trends. *Nat Rev Clin Oncol* 2023; 20: 624–639. <https://doi.org/10.1038/s41571-023-00798-3>.
2. Ceachi, B., Muresan, F., M. Trascau, M., and Florea, A. M. Efficient Tissue Detection in Whole-Slide Images Using Classical and Hybrid Methods: Benchmark on TCGA Cancer Cohorts. *MDPI Journal List*, vol. 17, Issue 17, 2025. <https://www.mdpi.com/2072-6694/17/17/2918>.
3. Korablyov, M., Fomichov, O., Axak, N. Classification of objects based on a tree-shaped artificial immune network model / *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Selected Papers from the International Conference on Computer Science and Information Technologies, (CSIT 2020), Ukraine, Vol. 1293, Springer Cham, 2020. – pp.160-172. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-63270-0>.
4. Mehta, S, Kaur, S. Histopathological Image Classification: EfficientNetB3 vs Custom CNN for Cancer Detection. *IEEE International Conference on Interdisciplinary Approaches in Technology and Management for Social Innovation (IATMSI)*, 2025. – pp. 1-5

UDC 004.056.53:004.8

**METHOD FOR DETECTING PRESENTATION ATTACKS ON
AUTHENTICATION SYSTEMS BASED ON KEYSTROKE
DYNAMICS USING AUTOENCODERS**

Y. Yezhova^[0009-0007-5880-0069], **Dr.Sci., Y. Bashkov**^[0000-0001-6974-4882]

*State Higher Education Establishment "Donetsk National Technical University",
Ukraine*

EMAIL: yelyzaveta.yezhova@donntu.edu.ua

**МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ ПРЕЗЕНТАЦІЙНИХ АТАК У СИСТЕМАХ
АВТЕНТИФІКАЦІЇ ЗА ДИНАМІКОЮ КЛАВІАТУРНОГО
ПОЧЕРКУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ АВТОЕНКОДЕРА**

Є. Єжова, Dr.Sci., Є. Башков

*Державний вищий навчальний заклад "Донецький національний технічний
університет", Україна*

***Анотація.** У роботі запропоновано каскадний метод виявлення презентаційних атак у системах автентифікації за динамікою клавіатурного почерку. Метод поєднує аналіз фізіологічної варіативності натискань клавіш, перевірку біометричної унікальності та автоенкодер однокласової класифікації, навчений лише на даних легітимних користувачів. Експериментальні результати підтверджують високу ефективність запропонованого підходу для виявлення автоматизованих, повторних та статистично синтезованих атак.*

***Ключові слова:** поведінкова біометрія, динаміка клавіатурного почерку, презентаційні атаки, автоенкодер, однокласова класифікація, виявлення аномалій.*

Abstract. This paper presents a hybrid cascade framework for presentation attack detection in keystroke dynamics authentication systems. The proposed method combines physiological variability analysis, biometric identity verification, and a one-class autoencoder trained exclusively on genuine user data. Experimental evaluation demonstrates effective detection of automated, replay, and statistical attacks while maintaining high detection accuracy and real-time computational efficiency.

Keywords: behavioral biometrics, keystroke dynamics, presentation attack detection, one-class autoencoder, anomaly detection, behavioral authentication.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Keystroke dynamics enables continuous behavioral authentication without additional hardware. However, recent advances in artificial intelligence have increased the risk of presentation attacks capable of mimicking legitimate typing behavior. Existing presentation attack detection (PAD) methods rely on deterministic rules or supervised learning methods and remain vulnerable to previously unseen attacks [1, 2].

This work proposes a hybrid cascade PAD framework that combines physiological variability analysis, biometric identity verification, and one-class deep learning to improve robustness while preserving real-time performance.

The proposed framework consists of three sequential stages. First, physiological variability analysis rejects automated scripts characterized by deterministic timing intervals. Second, replay attacks are detected by comparing the current authentication vector with stored user templates using the Euclidean distance. Finally, a one-class autoencoder trained only on genuine samples reconstructs 31-dimensional feature vectors through an 8-dimensional latent representation. Synthetic attacks generate higher reconstruction errors because they violate intrinsic relationships between timing features [3]. The autoencoder uses a symmetric 31–24–16–8–16–24–31 architecture.

The framework was evaluated using 20,800 genuine keystroke vectors collected from 52 user profiles. Three presentation attack scenarios were considered: automated, replay, and statistical attacks. Automated attacks were rejected during physiological variability analysis, replay attacks during biometric comparison, and statistical attacks by the autoencoder. The proposed method achieved an AUC of 0.995, an EER of 2.7%, and an average authentication latency of 0.2131 ms [4].

The proposed hybrid PAD framework effectively detects automated, replay, and statistical presentation attacks without requiring attack samples during training. Experimental results demonstrate its suitability for real-time keystroke dynamics authentication.

References

1. International Organization for Standardization. (2023). ISO/IEC 30107-3:2023 Information technology—Biometric presentation attack detection—Part 3: Testing and reporting. International Organization for Standardization.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

2. Shadman, R., Wahab, A. A., Manno, M., Lukaszewski, M., Hou, D., & Hussain, F. (2025). Keystroke dynamics: Concepts, techniques, and applications. ACM Computing Surveys. <https://doi.org/10.1145/3733103>
3. Bellinger, C., Sharma, S., & Japkowicz, N. (2012). One-class versus binary classification: Which and when? In 2012 Eleventh International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA) (Vol. 2, pp. 102–107). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICMLA.2012.212>
4. Killourhy, K. S., & Maxion, R. A. (2009). Keystroke dynamics benchmark data set. Carnegie Mellon University, School of Computer Science. <https://www.cs.cmu.edu/~keystroke/>

УДК 621.396

**CYBERSECURITY ASSESSMENT OF 5G SEGMENTS BASED ON
ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND MACHINE LEARNING**

Ph.D., M. Iavich^{1[0000-0002-3109-7971]}, **Dr.Sci., R.Odarchenko**^{2[0000-0002-7130-1375]},

Dr.Sci., S.Gnatyuk^{2[0000-0003-4992-0564]}

¹Caucasus University, Georgia

²National University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine

EMAIL: s.gnatyuk@kai.edu.ua

**ОЦІНКА КІБЕРБЕЗПЕКИ СЕГМЕНТІВ 5G НА ОСНОВІ
ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА МАШИННОГО НАВЧАННЯ**

Ph.D., М. Явич¹, **Dr.Sci., Р. Одарченко**², **Dr.Sci., С. Гнатюк**²

¹Кавказький університет, Грузія

²Національний університет «Київський авіаційний інститут», Україна

Анотація. Впровадження технології сегментування мережі у специфікаціях 5G дозволяє створювати ізольовані віртуальні підмережі з різними параметрами якості обслуговування. Проте архітектурна гнучкість сегментів створює нові вектори кібератак, включаючи міжсегментне проникнення, DoS-атаки та витік конфіденційних даних через спільну фізичну інфраструктуру. Метою цього дослідження є розробка методології тестування проникнення базатошарової інфраструктури стільникових мереж. Запропонована методологія використовує алгоритми штучного інтелекту та машинного навчання, а також передовий досвід тестування на проникнення як основу для правильного управління процесом тестування та досягнення оптимальних результатів.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

***Ключові слова:** кібербезпека, мережі 5G, сегментування мережі, штучний інтелект, машинне навчання, загрози, оптимізація.*

Abstract. The introduction of network segmentation technology in 5G specifications allows for the creation of isolated virtual subnetworks with different quality of service parameters. However, the architectural flexibility of segments creates new cyberattack vectors, including inter-segment intrusion, DoS attacks, and leakage of confidential data through a shared physical infrastructure. The purpose of this study is to develop a methodology for penetration testing of the multilayer infrastructure. The proposed methodology uses artificial intelligence and machine learning algorithms, as well as penetration testing best practices as a basis for proper management of the testing process and achieving optimal results.

Keywords: cybersecurity, 5G networks, network segmentation, artificial intelligence, machine learning, threats, optimization.

Розгортання мереж п'ятого покоління (5G) суттєво трансформує парадигму телекомунікацій завдяки концепції сегментування мереж, що дозволяє операторам гнучко виділяти підмережі для специфічних потреб, від наднадійного зв'язку з низькою затримкою до масивних взаємодій в індустріальному Інтернеті речей [1]. Проте динамічне керування та спільне використання фізичних ресурсів (обчислювальних потужностей, каналів зв'язку) різними сегментами підвергаються різного типу загрозам. Найбільш критичними є атаки типу «міжсегментного витоку» при якій відбувається несанкціонований доступ до ізольованих даних суміжного високо захищеного сегмента. Саме тому, виникає необхідність розробки сучасних методів управління безпекою, які ґрунтуються на застосування технологій штучного інтелекту та машинного навчання.

Для досягнення необхідного рівня кібербезпеки необхідно проводити тестування вразливостей у всій мережі, тестування компонентів та тестування на проникнення [2]. Тестування на проникнення доцільно проводити за допомогою автоматизованих технологій для систематичної оцінки стійкості мережевих елементів.

В контексті цього, пропонується використовувати алгоритми, які створюють моделювання атаки за допомогою дерева атак, базуючись на систематичному зборі даних. Спочатку інформація про мережеві пристрої збирається за допомогою API та інструментів, таких як Shodan,

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

що підкреслює необхідність ґрунтовного розуміння топології мережі та потенційних вразливостей. Потім генетичний алгоритм обробляє уявлення про атаку для оцінки та оптимізації різних типів атаки на основі функції придатності, яка базується на структурованих методологіях PTES та ISSAF [3]. Процес автоматизованого тестування в мережах стільникового зв'язку 5G складається з трьох основних етапів: збір даних, моделювання за допомогою штучного інтелекту та машинного навчання, а також інтеграція з інструментами тестування на проникнення, що наведено на рис. 1.

Запропонована методологія базується на чинних стандартах та забезпечує адаптивність до швидкозмінного типу загроз кібербезпеці, а також дозволяє виявляти вразливості, оптимізувати генерацію стратегій атаки та підвищувати рівень успішності тестування на проникнення в складних мережевих середовищах.

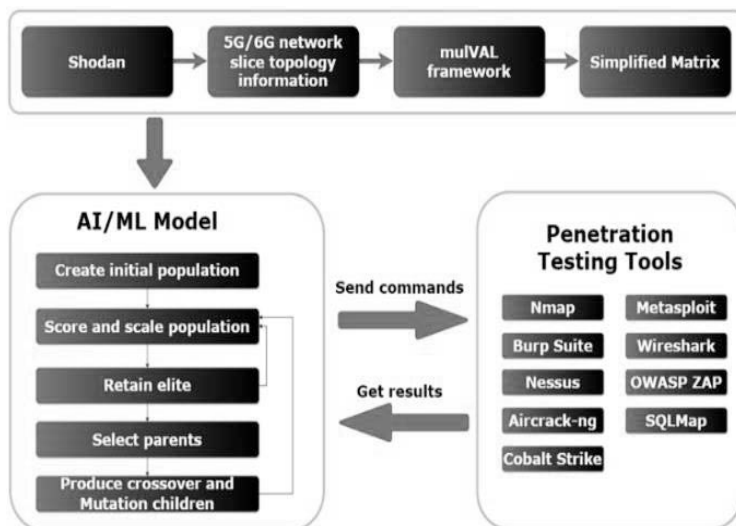


Рисунок 1. Узагальнена методологія тестування на проникнення для сегментів мережі 5G та пізніших версій

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

References

1. Orsos, M. et al. (2025). *Security operation center methodology for 5G networks*. Acta Polytechnica Hungarica. Vol. 22, no. 2, pp. 99-121.
2. Hussain, K., et al. (2025). *Reshaping cybersecurity practices by optimizing web application penetration testing*. Reshaping CyberSecurity With Generative AI Techniques. Hershey, USA: IGI Global, pp. 395-410.
3. Santiago, A., et al. (2024). *Analysis of Mission Critical Services Radio Access Network Capacity Limitations Over 5G*. IEEE Access, vol. 12, pp. 6191-6203, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3350902>

UDC 004.032.26

DESIGN OF A LIGHTWEIGHT CNN-BASED DRIVER
MONITORING SYSTEM FOR REAL-TIME GAZE-ZONE
CLASSIFICATION AND HEAD-POSE ESTIMATION
Dr.Sci., J. Boiko¹[0000-0003-0603-7827], Ph.D., I. Pyatin²[0000-0003-1898-6755]

¹ Khmelnytskyi National University, Ukraine,

² Khmelnytskyi Polytechnic Professional College by Lviv Polytechnic National University, Ukraine

EMAIL:¹boiko_julius@ukr.net, ²ilkhmel@ukr.net

ПРОЄКТУВАННЯ ПОЛЕГШЕНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ
УВАГИ ВОДІЯ НА ОСНОВІ ЗГОРТКОВОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ
ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ЗОН ПОГЛЯДУ ТА ОЦІНЮВАННЯ
ПОЛОЖЕННЯ ГОЛОВИ В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ

Dr.Sci., Ю. Бойко¹, Ph.D., І. Пятін²

¹ Хмельницький національний університет, Україна,

² Хмельницький політехнічний фаховий коледж Національного університету
«Львівська політехніка», Україна

Анотація. Представлено проєктування полегшеної нейромережевої системи моніторингу уваги водія, яка виявляє ознаки неувважності за зображенням зі звичайної вебкамери та працює в реальному часі на бюджетному ноутбуці без графічного прискорювача. Запропоновано модульний конвеєр із двох власних мереж: GazeZoneNet класифікує напрям погляду за шістьма зонами кабіни без калібрування, а HeadPoseNet оцінює кути нахилу

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

голови. Аналітична модель доводить, що мережі виконують близько 28 мільйонів операцій на кадр і досягають 10–15 кадрів за секунду на центральному процесорі.

Ключові слова: моніторинг водія, оцінювання зони погляду, оцінювання положення голови, згортоква нейронна мережа, інференс на CPU в реальному часі, відволікання водія.

Abstract. The design of a lightweight neural network system for driver attention monitoring is presented. The system detects signs of inattention from images captured by a standard webcam and operates in real time on a budget laptop without a graphics accelerator. A modular pipeline comprising two custom networks is proposed: GazeZoneNet classifies the gaze direction into six cabin zones without calibration, while HeadPoseNet estimates head orientation angles. An analytical model demonstrates that the networks perform approximately 28 million operations per frame and achieve 10–15 frames per second on a central processing unit (CPU).

Keywords: driver monitoring, gaze zone estimation, head pose estimation, convolutional neural network, real-time CPU inference, driver distraction.

Road traffic crashes remain one of the leading causes of death worldwide. The World Health Organization reports about 1.19 million road traffic fatalities every year, and human error is the dominant contributing factor [1]. Among human factors, driver inattention and distraction play a central role, because a driver who looks away from the road loses awareness of the traffic situation. Road safety regulators have responded by mandating in-vehicle driver monitoring: under the European Union General Safety Regulation, driver drowsiness and attention warning systems are required for new vehicles, and driver fatigue is estimated to be a factor in 10 to 25 percent of all road crashes in the Union. This regulatory pressure increases the demand for camera-based monitoring that runs on modest hardware.

The most accurate appearance-based gaze and head-pose methods rely on large networks, on per-user calibration, or on graphics accelerators, which complicates deployment on low-cost hardware. This work targets a clear niche: a system that uses only a commodity webcam, runs entirely on a central processing unit without a graphics accelerator, avoids per-user calibration, and still operates in real time. It follows a simplified modular pipeline that combines an efficient face detector [2] with two custom networks and a temporal decision rule.

Gaze direction is estimated by a network named GazeZoneNet, which adopts the multi-input idea of the iTracker model [3] but replaces coordinate regression with classification over six driving-relevant zones, namely the road, the left side, the right side, the instrument panel, the center console, and the downward direction. The final layer applies the Softmax transformation (1), which converts the network outputs into class probabilities that sum to one, and the zone with the highest probability is selected.

$$p_i = \frac{\exp(z_i)}{\sum_{j=1}^N \exp(z_j)}, i = 1, \dots, N, \quad (1)$$

where p_i is the predicted probability that the gaze belongs to zone i , z_i is the network output before the Softmax layer, and N equals six for the six gaze zones. Head orientation is estimated by HeadPoseNet, which follows the keypoint-free regression idea of HopeNet [4] and produces the three angles yaw, pitch, and roll. Both cues are combined in a duration-based decision rule that turns per-frame predictions into stable attention states.

The networks are made lightweight by converting the crops to grayscale, reducing the input sizes, and using a small channel sequence. Table 1 reports the resulting model complexity. The proposed GazeZoneNet contains about 23 thousand convolutional parameters against about 3.12 million for the iTracker baseline, a reduction of roughly 134 times, while HeadPoseNet is even smaller. The compact models fit easily in the limited memory of a low-end laptop and require no quantization or pruning before deployment.

Table 1. Model complexity of the convolutional backbone

Network	Role	Conv. parameters	Model size
iTracker	baseline	3,118,720	12.5 MB
GazeZoneNet	proposed	23,344	93 KB
HeadPoseNet	proposed	11,672	47 KB
YuNet [2]	detector	75,856	303 KB

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Because GazeZoneNet and HeadPoseNet reuse the task formulations of established baselines, the accuracy reported by those baselines serves as a reference target. Table 2 summarises these reference values together with the complexity of the proposed networks. The gaze-zone classification follows the formulation of Vora and colleagues, whose best convolutional model reaches about 95 percent macro-average accuracy [5], while the head-pose regression follows HopeNet and the related 6DRepNet. The proposed networks reach comparable reference quality with orders of magnitude fewer parameters.

Table 2. Accuracy of the baseline methods and complexity of the proposed networks

Task	Method	Accuracy/MAE	Params (M)
Gaze-zone classification	Vora et al. [3], SqueezeNet	95.18 %	1.2
Gaze-zone classification	GazeZoneNet (proposed)	95 %	0.023
Head-pose regression (AFLW2000)	HopeNet [4]	6.16° MAE	23.9
Head-pose regression (AFLW2000)	6DRepNet	3.97° MAE	—
Head-pose regression	HeadPoseNet (proposed)	$\approx 6^\circ$ MAE	0.012

The computational cost of the two networks together is only about 28 million multiply-add operations per frame. A throughput estimate shows that this workload reaches the target band of 10 to 15 frames per second even on a weak processor, so the camera rate and the other pipeline stages, rather than the networks, set the final frame rate. These results confirm that real-time driver gaze and head-pose monitoring can be brought to inexpensive commodity hardware without a dedicated accelerator. Future work will

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

collect and label the custom six-zone dataset, train both networks, and add the eye-closure analysis needed for a driver-fatigue state.

References

1. World Health Organization. (2023). *Global status report on road safety 2023*. WHO. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240086517>
2. Wu, W., Peng, H., & Yu, S. (2023). YuNet: A tiny millisecond-level face detector. *Machine Intelligence Research*, 20(5), 656–665. <https://doi.org/10.1007/s11633-023-1423-y>
3. Vora, S., Rangesh, A., & Trivedi, M. M. (2018). Driver gaze zone estimation using convolutional neural networks: A general framework and ablative analysis. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 3(3), 254–265. <https://doi.org/10.1109/TIV.2018.2843120>
4. Ruiz, N., Chong, E., & Rehg, J. M. (2018). Fine-grained head pose estimation without keypoints. *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, 2155–2164. <https://doi.org/10.1109/CVPRW.2018.00281>
5. Krafska, K., Khosla, A., Kellnhofer, P., Kannan, H., Bhandarkar, S., Matusik, W., & Torralba, A. (2016). Eye tracking for everyone. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2176–2184. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.239>

UDC 004.8'3:623.746.6:004.272

PRACTICAL APPLICATIONS OF TRACKING ALGORITHMS FOR
INTERCEPTING UNMANNED AERIAL VEHICLES DETECTED IN
THE INFRARED SPECTRUM

Dr.Sci., O. Zaritskyi^[0000-0002-6116-4426], **D. Ponzel**^[0009-0003-4179-2593]
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine
EMAIL: olegzaritskyi@gmail.com

ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ АЛГОРИТМІВ ТРЕКІНГУ ДЛЯ
ПЕРЕХОПЛЕННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ,
ВИЯВЛЕНИХ В ІНФРАЧЕРВОНОМУ ДІАПАЗОНІ СПЕКТРА
Dr.Sci., О.Заріцький, Д. Понзель

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

***Анотація.** Метою дослідження є забезпечення ефективності сталого трекінгу безпілотного літального апарата (БПЛА), виявленого в інфрачервоному спектрі. Це було досягнуто шляхом використання теплової карти БПЛА (його двигуна) у поєднанні з традиційними методами відстеження, з урахуванням обмежень як навчальних наборів даних, так і обчислювальних можливостей периферійних пристроїв. У ході реалізації проєкту було розглянуто кілька поширених алгоритмів відстеження, зокрема фільтр Калмана, SORT (Simple Online and Realtime Tracking) та два варіанти алгоритму DeepSORT, які відрізнялися способом формування карти ознак: один використовував гістограму розподілу температури, а інший — попередньо навчену нейронну мережу.*

***Ключові слова:** C-UAV, UAV, SOD, TIR, MRF, DeepSORT, фільтр Kalman*

***Abstract.** This study aims to effectively track an unmanned aerial vehicle (UAV) detected in the infrared spectrum. This was achieved by utilizing its heat map in conjunction with traditional tracking methods, while also considering the limitations of both the training datasets and the computational capabilities of edge devices. As the project progresses, several common tracking algorithms were considered, including the Kalman filter, SORT, and two variants of the DeepSORT algorithm that differ in feature map formation: one uses a temperature distribution histogram, while the other employs a pre-trained neural network.*

***Keywords:** C-UAV, UAV, SOD, TIR, MRF, DeepSORT, Kalman filter*

The war in Ukraine, as the main theater of UAV deployment, has gone beyond its borders. The Middle East is becoming an active player, where the production [1] and combat use of UAVs [2] is growing very rapidly. At the same time, Ukraine remains the region with the highest intensity of combat use of UAVs in the world - each side of the conflict has delivered more than 1 million drones to the front, mostly tactical FPV drones. It is obvious that the growth of the scope of production and use of strike UAVs leads to the search for ways to effectively combat them, that is, detection, identification and tracking in the tasks of interception and destruction. A large number of works are devoted to the study of UAV detection issues, which indicates the relevance of the issue. Analysis of the dynamics of the development and use of UAVs, as well as measures to combat them, allows to talk about the need for the integrated use of various methods and approaches, such as acoustic

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

reconnaissance [3], the use of optoelectronic sensors [4] and sensors in the IR range for nighttime detection, etc.

Based on the information provided on the dynamics of UAV production and application, the above-mentioned detection, identification and tracking tasks are quite relevant in the framework of building counter-UAV (C-UAV) systems. As noted in the abstract, several algorithms were used in the study. For all algorithms, the input data was derived from the previous detection stage, which involved applying bounding boxes using the Markov Random Fields (MRF) algorithm optimized with Graph Cut (GC). A further development of the SORT algorithm in terms of improving the cost function was the DeepSORT algorithm, which added deep Re-ID features and made the detection-track association stage itself much smarter. Its key idea involves combining information about the UAV's movement (via Kalman/Mahalanobis) with appearance features (via CNN-embedding) in a single cost function.

For the case of hot engine detection as features for IR images, the neural network can be replaced by simple brightness (or temperature) features (because there is no texture). The study considered two options: brightness features and a simple neural network. For the IR image (heat map) without Re-ID network, thermal features were used – a histogram of temperatures inside the bbox.

The proposed Re-ID IR network is a lightweight convolutional neural network designed specifically for thermal IR re-identification of a single engine object. The architecture follows an encoder-head paradigm and contains approximately 15,000 trainable parameters, making it suitable for embedded or resource-constrained deployment. A training dataset consisting of up to 2,000 heat maps was created, enabling the training of the neural network on real data rather than synthetic data. This approach facilitated the testing of different architectures to achieve the highest tracking accuracy.

The algorithms studied demonstrated high accuracy and reliability in tracking UAVs in the infrared (IR) range using raw temperature data obtained from heat maps generated by IR sensors. It is clear that enhancing tracking models by integrating the heat map context control component into the cost matrix of the DeepSORT algorithm - alongside the spatial component from the SORT algorithm—significantly improved both the Intersection over Union (IoU)

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

and Multiple Object Tracking Accuracy (MOTA) metrics. After comparing the effectiveness of various methods and considering potential limitations regarding data availability and necessary computing power, it was concluded that implementing the DeepSORT algorithm in practice is appropriate. This approach utilizes feature maps based on temperature distribution histograms from the heat map. The performance metrics from this method are only 1-2% lower than those of approaches that rely on neural networks for tracking. It should also be noted that the efficiency of the algorithms is much better when using raw temperature data from heat maps than processed data in PAL and MP formats.

References

1. A Comprehensive Approach to Countering Unmanned Aircraft Systems. Joint Air Power Competence Centr // 2024. - 644 p.
2. MarketsandMarkets, "Middle East UAV (Drone) Market worth \$3.31 billion by 2030," Marketsandmarkets.com, 2025. <https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/middle-east-uav-drone.asp> (accessed Apr. 21, 2026).
3. O. V. Zaritskyi and O. V. Ponomarenko, "Intelligent Analysis of Sound Patterns of Unmanned Aerial Vehicle Engines in the Tasks of C-UAS Systems Development," International Journal of Computing, pp. 387–396, Jul. 2025, doi: <https://doi.org/10.47839/ijc.24.2.4023>.
4. O. Zaritskyi, "Object Detection Models in Counter-Unmanned Aircraft Systems Based on Devices with Limited Computing Capabilities," presented at the 13th International Scientific and Practical Conference "Information Control Systems and Technologies", ICST 2025, CEUR-WS, 2025.

UDC 004.8:37

PREPARING STUDENTS FOR ICT JOBS: TEACHING MAJOR-SPECIFIC SUBJECTS WITH AI DEVSECOPS FRAMEWORK

Dr.Sci., D. Zubov¹[0000-0002-5601-7827], Dr.Sci., A. Kupin²[0000-0001-7569-1721],
Ph.D., S. Goundar³0000-0001-6465-1097], Ph.D., M. Fayaz⁴[0000-0002-7554-290X]

^{1,3,4}University of Central Asia, Kyrgyz Republic,

²Kryvyi Rih National University, Ukraine

EMAIL: ¹dzubov@ieee.org, ²kupin@knu.edu.ua, ³sam.goundar@ucentralasia.org,

⁴muhammad.fayaz@ucentralasia.org

**ПІДГОТОВКА СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ В ГАЛУЗІ ІКТ:
ВИКЛАДАННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ПРЕДМЕТІВ ЗА
ДОПОМОГОЮ ФРЕЙМВОРКУ AI DEVSECOPS**

Dr.Sci., Д. Зубов¹, Dr. Sci. А. Купін², Ph.D., С. Гундар³, Ph.D., М. Фаяз⁴

^{1,3,4}Університет Центральної Азії, Киргизька Республіка,

²Криворізький національний університет, Україна

***Анотація.** У цьому дослідженні представлено результати інтеграції фреймворку AI DevSecOps у курси ІКТ в Університеті Центральної Азії. Порівняльний аналіз освітнього змісту, представленого кількістю термінів з ненульовою кількістю повторень у текстовому корпусі, предмета «Комп'ютерні мережі» з акцентом на програмне/апаратне забезпечення Cisco з осінніх семестрів 2022/2023 та 2025/2026 навчальних років, показує збільшення в 1,78 раза при використанні представленого фреймворку.*

***Ключові слова:** ІКТ, ринок праці, штучний інтелект, DevSecOps, університет, кібербезпека.*

***Abstract.** This study presents the results of integrating the AI DevSecOps framework into ICT courses at the University of Central Asia. The comparative analysis of the educational content, represented by the number of terms with non-zero occurrences in the text corpus, of the "Computer Networks" subject with an emphasis on Cisco soft-/hardware from the fall semesters of the 2022/2023 and 2025/2026 academic years shows a 1.78-fold increase using the presented framework.*

***Keywords:** ICT, job market, AI, DevSecOps, university, cybersecurity.*

Information and Communications Technology (ICT) impacts almost every aspect of human life nowadays. Over the past five years, the rapid advancement of software-defined networking, cloud-based applications, and AI-driven automation has transformed modern smart infrastructures and reshaped patterns of social interaction. Students entering the workforce should be equipped with both theoretical knowledge and job-ready skills. Academic curriculum development is now transforming towards Artificial Intelligence (AI) and DevSecOps technologies worldwide. The additional time required for educators to manually design, review, and update teaching materials often results in low-quality teaching, and hence they cannot keep pace with new trends and industry requirements.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

The challenge of teaching ICT-related subjects is illustrated with the major-specific course "Computer Networks" in this study. Teaching modern networking requires both complex theoretical concepts and rigorous practical application, and heavily relies on industry-standard technologies, e.g., those provided by Cisco. Teaching staff should follow continuous ICT changes to keep presentations up-to-date, design diverse practical labs in Cisco Packet Tracer, and generate quiz questions that accurately test both theory and practice. Furthermore, with cybersecurity becoming a foundational element of all ICT infrastructure, security principles must be integrated directly into every ICT class.

This study presents the results of the AI DevSecOps framework adoption in the "Computer Networks" course at the University of Central Asia (UCA), Naryn campus. This study shows that teaching staff can significantly expand the educational content while ensuring students learn the course materials and engage with up-to-date practical industry standards. Using the "Computer Networks" subject with Cisco technologies as an example, this paper demonstrates the application of this framework to the development of lecture presentations, practical assignments, and quizzes that prepare students to be ready for modern ICT jobs.

The study follows a structured process in multiple stages:

1. The data were collected from the Moodle learning management system for the "Computer Networks" course from the fall semesters of 2022/2023 and 2025/2026 academic years at UCA. These academic years represent the course development without and with the use of AI tools.

2. Comparative analysis of terms' occurrences was applied to identify the most representative text corpus using specialized vocabulary. This method offers a quantifiable approach to track curriculum changes and industry alignment but does not provide qualitative insights into pedagogical effectiveness or student comprehension.

The comparative analysis of the course content (this study assumes it can be represented by the number of terms with non-zero occurrences in the text corpus) from the fall semesters of the 2022/2023 and 2025/2026 academic years (grade point averages were approximately the same) shows a 1.78-fold increase. Based on this indicator, the AI DevSecOps framework

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

significantly improves students' active participation in a modern AI-augmented technical ecosystem and makes them ready for ICT jobs.

The use of AI DevSecOps framework in the educational process enhances students' readiness for modern software engineering environments by familiarizing them with contemporary practices such as agile secure development and AI-assisted "vibe coding."

UDC 519.7

**MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION OF PCA AND T-SNE
DIMENSIONALITY REDUCTION**

Dr.Sci., V. Romanuke^[0000-0001-9638-9572], **Dr.Sci., S. Merinova**^[0000-0001-6563-5320]

Vinnytsia Institute of Trade and Economics of the State University of Trade and
Economics, Ukraine

EMAIL: romanukevadimv@gmail.com

**БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОПТИМІЗАЦІЯ МЕТОДІВ PCA ТА
T-SNE ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ РОЗМІРНОСТІ**

Dr.Sci., В. Романюк, Dr.Sci., С. Мерінова

Вінницький торговельно-економічний інститут Державного торговельно-
економічного університету, Україна

***Анотація.** Досліджено вплив усіх задекларованих параметрів методів аналізу головних компонент (Principal Component Analysis, PCA) та стохастичного вкладення сусідів із *t*-розподілом (t-distributed Stochastic Neighbor Embedding, t-SNE) на якість зниження розмірності даних. Розроблено уніфікований підхід до багатокритеріальної оптимізації параметрів PCA та t-SNE, у якому зниження розмірності розглядається як задача багатокритеріальної оптимізації з одночасною оптимізацією кількох показників якості. Результатом є синглетон Парето-уточнення, що представляє ефективний компроміс між якістю вкладення, точністю класифікації, стійкістю та обчислювальною ефективністю.*

***Ключові слова:** низьковимірне вкладення, perplexity, exaggeration, швидкість навчання, параметр апроксимації Барнса - Хата, дискретна оптимізація, Парето-ефективна множина, синглетон Парето-уточнення.*

***Abstract.** We investigate the impact of all declared parameters of Principal Component Analysis (PCA) and t-distributed Stochastic Neighbor Embedding (t-SNE)*

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

techniques on the dimensionality reduction (DR) quality. We develop a unified framework for the multi-objective optimization of PCA and t-SNE parameters by considering DR as a multi-criteria optimization problem, where several quality measures are optimized simultaneously. The result is a Pareto refinement singleton representing efficient trade-offs between embedding quality, classification performance, robustness, and computational efficiency.

Keywords: *low-dimensional embedding, perplexity, exaggeration, learning rate, Barnes — Hut approximation parameter, discrete optimization, Pareto-efficient set, Pareto refinement singleton.*

Among the numerous dimensionality reduction (DR) techniques, Principal Component Analysis (PCA) and t-distributed Stochastic Neighbor Embedding (t-SNE) remain two of the most widely used approaches [1]. Although both methods pursue DR, they solve substantially different problems. PCA provides a linear projection maximizing the explained variance of the transformed data [2], whereas t-SNE constructs a nonlinear embedding aimed at preserving local neighborhood relationships [3]. Each method possesses a number of algorithmic parameters whose selection considerably affects the quality of the resulting representation. Therefore, we develop a unified framework for the multi-objective optimization of PCA and t-SNE parameters by considering DR as a multi-criteria optimization problem, where several quality measures are optimized simultaneously.

The PCA parameters are: the number of retained principal components, the required proportion of explained variance, the singular value decomposition (SVD) solver, randomized or exact decomposition methods, the number of power iterations, oversampling parameters used in randomized SVD, whitening, tolerance values for iterative solvers, random initialization settings, and other numerical parameters affecting convergence and computational efficiency [2]. Although PCA has considerably fewer hyperparameters than nonlinear DR methods, their influence on clustering quality, class separability, information preservation, and execution time has not been systematically investigated from a multi-objective optimization perspective.

The optimization of t-SNE is substantially more challenging because of the considerably larger number of interacting hyperparameters: perplexity, early exaggeration coefficient, late exaggeration coefficient (where

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

supported), learning rate, automatic learning-rate strategy, maximum number of optimization iterations, number of iterations during the early exaggeration stage, momentum coefficients, initialization method (PCA or random), embedding dimensionality, Barnes - Hut approximation angle, FFT interpolation parameters, interpolation grid resolution, number of interpolation points, negative gradient approximation parameters, nearest-neighbor search method, approximate nearest-neighbor parameters, random seed, optimization tolerance, gradient clipping options, minimum gradient norm for early stopping, multithreading settings, number of processing threads, exact or approximate affinity computation, affinity kernel parameters, and other implementation-specific controls affecting both embedding quality and computational performance [1, 3].

Into the multi-objective optimization we include native t-SNE minimization of Kullback - Leibler divergence, Davies — Bouldin index, computational runtime, and maximization of Trustworthiness, Continuity, Silhouette coefficient, Calinski - Harabasz index, classification accuracy obtained on the reduced representation.

Additional objectives may also be incorporated when appropriate, including neighborhood preservation measures, local continuity meta-criterion, normalized stress, explained variance (for PCA), reconstruction error, distance preservation metrics, cluster compactness, inter-cluster separation, and stability of embeddings across repeated executions with different random initializations.

The search for Pareto-efficient parameter configurations is performed as follows. Every candidate solution represents one complete configuration of PCA or t-SNE hyperparameters. For every configuration, DR is performed, all objective functions are evaluated, and the obtained solution is either added to the Pareto set or excluded.

Thereupon the obtained Pareto set is iteratively refined to a singleton whose element is the final solution representing efficient trade-offs between embedding quality, classification performance, robustness, and computational efficiency.

To ensure statistically reliable conclusions, we carry out the optimization on datasets of sizes varying between a few thousand and a few million observations, having between a few ten and a few thousand features, with up

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

to several hundred classes. For accomplishing this, we consider both synthetic datasets with controllable statistical properties and publicly available benchmark datasets. We investigate the influence of the number of observations, the number of original features, intrinsic dimensionality, class imbalance, class overlap, and noise level on the obtained Pareto set and its refinement. For t-SNE, Barnes - Hut and FFT-based algorithms are compared with further determining under which conditions each implementation becomes preferable.

The expected outcome of the research is a comprehensive methodology for multi-objective optimization of PCA and t-SNE that combines quantitative embedding quality assessment, computational efficiency, and classification performance into a unified optimization framework. The research is expected to reveal the relative importance of individual hyperparameters, identify interactions among them, determine their sensitivity to dataset characteristics, and establish practical guidelines for selecting DR parameters across different implementations and application domains.

The proposed framework is intended to serve as a general decision-support tool for practitioners seeking balanced DR solutions rather than relying on default parameter values or empirical trial-and-error tuning.

References

1. Anowar, F., Sadaoui, S., & Selim, B. (2021). Conceptual and empirical comparison of dimensionality reduction algorithms (PCA, KPCA, LDA, MDS, SVD, LLE, ISOMAP, LE, ICA, t-SNE). *Computer Science Review*, 40, 100378. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2021.100378>
2. Romanuke, V. (2025). Tall Array method efficiency in dataset dimensionality reduction by principal component analysis. *KPI Science News*, 139(2), 18–29. <https://doi.org/10.20535/kpissn.2025.2.331279>
3. Kobak, D., & Berens, P. (2019). The art of using t-SNE for single-cell transcriptomics. *Nature Communications*, 10, 5416. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-13056-x>

UDC 004.056.53:004.8

ON DATA AUGMENTATION FOR RADIO FREQUENCY FOUNDATION MODELS

D. Shyrman^{1[0009-0003-2348-0561]}, **Dr.Sci., V. Peschanenko**^{2[0000-0003-1013-9877]}

Kherson State University, Ukraine

EMAIL: dshyrman@ksu.ks.ua, vladim@ksu.ks.ua

ПРО АУГМЕНТАЦІЮ ДАНИХ ДЛЯ БАЗОВИХ МОДЕЛЕЙ У РАДІОЧАСТОТНІЙ ОБЛАСТІ

Д. Ширман, Dr.Sci., В. Песчаненко

Херсонський Державний Університет, Україна

Анотація. Аугментація даних є зрілою складовою навчання представлень у комп'ютерному зорі та обробці природної мови, проте в радіочастотній області вона залишається вузькою. Навіть нещодавні роботи з самоконтрольованого навчання та базових моделей на сирих радіочастотних даних спираються на невеликий набір простих перетворень. У роботі аналізуються причини такої ситуації, наводяться приклади фізично значущих аугментацій, які зазвичай ігноруються, та обґрунтовується, що ретельне проектування політик аугментації є необхідною передумовою для побудови справжніх базових моделей.

Ключові слова. Радіочастотні сигнали, аугментація даних, самоконтрольоване навчання, базова модель, контрастивне навчання.

Abstract. Data augmentation is a mature and central component of representation learning in computer vision and natural language processing, yet it remains comparatively narrow in radio frequency research. Even recent self supervised and foundation model efforts on raw in phase and quadrature data rely on a small set of trivial transforms. This work examines the underlying causes, lists physically meaningful augmentations that are routinely omitted, and argues that careful augmentation policy design is a prerequisite for genuine wireless foundation models.

Keywords. Radio frequency signals, data augmentation, self supervised learning, foundation model, contrastive learning.

Recent self supervised studies on raw in phase and quadrature data typically apply augmentation budgets of no more than five operations, often

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

only additive white Gaussian noise with at most a phase rotation or a small time shift [1, 2]. Many physically meaningful augmentations are rarely used in pretraining pipelines. Receiver hardware impairments such as DC offset, IQ imbalance, and power amplifier distortion are almost absent. Channel effects are reduced to additive noise, with time and frequency selective fading, Doppler effect, and adjacent channel interference all uncommon. Frequency shift, circular time shift, and multi signal mixing with controlled interference are similarly under utilised, even though each captures a fundamental aspect of how real radio frequency scenes vary.

Tooling for many of these transforms exists. The TorchSig library [3] catalogues more than thirty physics motivated transformations, and the CSR2025 framework [4] supports large scale synthetic generation. Both are weakly adopted in practice, in part because neither is built for batched GPU runtime augmentation that fits modern PyTorch pipelines.

Our ongoing research on IQ signal representations addresses some of these gaps with a GPU friendly library that fits modern PyTorch workflows and includes the operations above with awareness of signal band masks and signal to noise ratios. A detailed presentation is the subject of a forthcoming paper. Adopting a richer augmentation set raises a question that is rarely discussed. In contrastive frameworks such as SimCLR [5], the chosen augmentations define the invariances the encoder learns, since the model maps differently augmented views to nearby points in representation space. Augmenting away DC offset and IQ imbalance is desirable for modulation classification but harmful for device fingerprinting, where the same impairments form the discriminative signature of the transmitter.

A foundation model worthy of the name should generalise to a broad set of downstream tasks, yet a contrastive encoder pretrained with a blanket physics based augmentation policy risks being useful for some tasks and degraded for others. One promising mitigation is to combine a rich augmentation set with a masked learning objective rather than a contrastive one. Masked learning imposes weaker invariance constraints on the encoder than contrastive learning, which plausibly helps preserve discriminative features that a contrastive objective would otherwise discard.

Augmentation policy should therefore be treated as a design parameter of the pretraining objective rather than a fixed preprocessing step. Progress on

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

broader tooling and principled policy design is needed for radio frequency representation learning to converge with self supervised learning in other modalities.

References

- 1 Davaslioglu, K., Boztaş, S., Ertem, M. C., Sagduyu, Y. E., Ayanoglu, E. (2023). "Self-Supervised RF Signal Representation Learning for NextG Signal Classification with Deep Learning".
- 2 Mashaal, O., Abou-Zeid, H. (2025). "IQFM: A Wireless Foundational Model for I/Q Streams in AI-Native 6G".
- 3 Boegner, L., Gulati, M., Vanhoy, G., Vallance, P., Comar, B., Kokalj-Filipovic, S., Lennon, C., Miller, R. D. (2022). "Large Scale Radio Frequency Signal Classification".
- 4 Chang, S., Sun, R., He, J., Huang, S., Yu, K., Feng, Z. (2025). "CSR2025: A Large-Scale Synthetic Radio Dataset for Spectrum Sensing in Wireless Communications".
- 5 Chen, T., Kornblith, S., Norouzi, M., Hinton, G. (2020). "A Simple Framework for Contrastive Learning of Visual Representations".

UDC 004.8:61

**AUDITING DEEP LEARNING FOR CARDIAC MRI THROUGH
SEMANTIC TRANSITIONS AND CONFLICT-AWARE
PRODUCTION RULES**

**Ph.D., P. Radiuk¹ [0000-0003-3609-112X], Dr.Sci., O. Barmak¹ [0000-0003-0739-9678],
Dr.Sci., Y. Krak^{2,3} [0000-0002-8043-0785]**

¹*Khmelnitskyi National University, Ukraine,*

²*Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine,*

³*V. M. Glushkov Institute of Cybernetics, Ukraine*

EMAIL: ¹ radiukp@khnmu.edu.ua, ² barmako@khnmu.edu.ua, ³ iurii.krak@knu.ua

**АУДИТ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ МРТ СЕРЦЯ ЧЕРЕЗ
СЕМАНТИЧНІ ПЕРЕХОДИ ТА ПРОДУКЦІЙНІ ПРАВИЛА З
УРАХУВАННЯМ КОНФЛІКТІВ**

Ph.D., П. Радюк¹, Dr.Sci., О. Бармак¹, Dr.Sci., Ю. Крак^{2,3}

¹*Хмельницький національний університет, Україна,*

²*Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Україна,*

³*Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова, Україна*

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

***Анотація.** Запропоновано постфактумний підхід до аудиту магнітно-резонансних зображень серця, що відображає детерміновані ознаки зображень і масок у 28 клінічно зрозумілих показниках, а далі – у продукційні правила з урахуванням конфліктів. На тестовій частині ACDC SD-нормований RMSE становив $0,767 \pm 0,246$, а точність семантичного класифікатора – 0,860. На M&Ms похибка зросла у 2,25 рази, що обмежує застосування вибіркового аудиту.*

***Ключові слова:** пояснюваний штучний інтелект, магнітно-резонансна томографія серця, матриця переходу, семантична реконструкція, грубі множини, продукційні правила, утримання від рішення*

Abstract. We present a post-hoc audit framework for cardiac magnetic resonance imaging that maps deterministic image-mask descriptors to 28 clinician-facing measurements and then to conflict-aware production rules. On held-out ACDC cases, SD-normalized RMSE was 0.767 ± 0.246 , while the semantic classifier achieved 0.860 accuracy. External M&Ms error increased 2.25-fold, supporting selective auditing rather than autonomous diagnosis.

Keywords: explainable artificial intelligence, cardiac magnetic resonance, transition matrix, semantic reconstruction, rough sets, production rules, abstention

Cardiac magnetic resonance (CMR) provides quantitative ventricular measurements, but automated results remain difficult to audit when image-derived representations are disconnected from clinically recognizable evidence. ACDC supplies a benchmark for cardiac segmentation and diagnosis [1], whereas M&Ms exposes center- and vendor-related domain variation [2]. Domain-centered cardiovascular explainability further motivates semantic evidence rather than visual attribution alone [3]. We therefore condense the full study into a traceable audit chain from cine images and masks to CMR measurements and conservative symbolic rules.

The evaluated formal representation is a deterministic baseline rather than a trained deep encoder. Phase-specific image intensity, chamber occupancy, and mask descriptors are projected to a fixed 128-dimensional matrix A .

Matrix B contains 28 clinician-facing variables, including ventricular volumes, ejection fractions, myocardial mass, wall-thickness descriptors, shape indices, and quality-control variables. This isolates the transition and

rule layers while preserving an interface that can later accept frozen deep features.

All fitted preprocessing is learned only from the 85 ACDC training patients in the fixed 85/15/50 split; the 100 M&Ms cases remain external. The regularized transition follows the transition-matrix principle [4]. With standardized formal features $\mathbf{A}_z$, centered semantic targets $\mathbf{B}_c$, and ridge penalty λ , the fitted map is defined by Equation (1).

$$\mathbf{T}_\lambda = \arg \min_{\mathbf{T}} \|\mathbf{A}_z \mathbf{T} - \mathbf{B}_c\|_F^2 + \lambda \|\mathbf{T}\|_F^2. \quad (1)$$

Held-out semantics are reconstructed by Equation (2). The current release uses frozen training tertiles rather than the full WEDD optimizer shown in the conceptual architecture. The resulting symbolic states form a rough-set-style decision table [5]. Consistent granules yield readable production rules, formalized in Equation (3); quality-control failures, missing prerequisites, unmatched cases, or contradictory consequents produce explicit abstention.

$$\mathbf{b}(\mathbf{a}) = \mathbf{a}_z \mathbf{T}_\lambda + \boldsymbol{\mu}_B^\top. \quad (2)$$

$$r: [s_{j_1} = v_{j_1}] \wedge [s_{j_2} = v_{j_2}] \wedge \cdots \wedge [s_{j_p} = v_{j_p}] \Rightarrow d = y_r \quad (3)$$

On 50 held-out ACDC cases, the mean training-SD-normalized RMSE across 28 semantics was 0.767 ± 0.246 . Correlations were 0.928 for global ED wall thickness, 0.863 for LVEF, 0.815 for RVEF, and 0.710 for LVEDV.

The measured-semantics classifier achieved 0.860 accuracy, 0.861 macro-F1, and 0.973 macro-AUROC. The 200-rule layer covered 0.640 cases, abstained on 0.360, and reached 0.644 balanced accuracy on non-abstained cases, with covered-case conflict of 0.313. Table 1 collects the core quantitative findings.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Table 1. Core quantitative audit findings from the full manuscript

Metric	ACDC test	External / audit meaning
SD-NRMSE	0.767 ± 0.246	M&Ms: 1.726 ± 1.177 (2.25 $\times$)
High-impact Pearson r	ED wall 0.928; LVEF 0.863; RVEF 0.815; LVEDV 0.710	Target-dependent semantic fidelity
Measured-semantics classifier	Accuracy 0.860; macro-F1 0.861; AUROC 0.973	Transparent comparator
200-rule audit layer	Coverage 0.640; abstain 0.360; BA 0.644; conflict 0.313	Selective audit; BA excludes abstained cases

External SD-normalized RMSE rose to 1.726 ± 1.177 on M&Ms, 2.25 times the ACDC test value. Scale-sensitive volume and mass targets therefore require external recalibration or exclusion before use. A 2° rotation produced relative formal change 0.053114 and mixed-unit semantic change 9.821420 while mask-count change remained 0.000470, indicating orientation sensitivity. The present framework is consequently a selective audit artifact, not a standalone diagnostic classifier. Future work should test frozen CMR encoders, full WEDD, orientation normalization, vendor-aware recalibration, and prospective clinician use.

References

1. Bernard, O., et al. (2018). Deep learning techniques for automatic MRI cardiac multi-structures segmentation and diagnosis: Is the problem solved? *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 37(11), 2514-2525. <https://doi.org/10.1109/TMI.2018.2837502>
2. Campello, V. M., et al. (2021). Multi-centre, multi-vendor and multi-disease cardiac segmentation: The M&Ms challenge. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 40(12), 3543-3554. <https://doi.org/10.1109/TMI.2021.3090082>
3. Guo, G., et al. (2024). MiMICRI: Towards domain-centered counterfactual explanations of cardiovascular image classification models. *FAccT 2024*, 1861-1874. <https://doi.org/10.1145/3630106.3659011>

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

4. Radiuk, P., et al. (2024). Explainable deep learning: A visual analytics approach with transition matrices. *Mathematics*, 12(7), 1024. <https://doi.org/10.3390/math12071024>
5. Pawlak, Z. (1982). Rough sets. *International Journal of Computer & Information Sciences*, 11(5), 341-356. <https://doi.org/10.1007/BF01001956>

UDC 004.93:004.8:621.38

**DEFECTS EXTRACTION IN PCB IMAGES USING NUMBERS,
COLORS AND MACHINE LEARNING**

R. Melnyk^[0000-0002-4329-6740], **Dr.Sci., O. Ivaniuk**^[0009-0008-9978-121X]

Lviv Polytechnic National University, Ukraine

EMAIL: ramelnyk@polynet.lviv.ua, oleh.ivaniuk.mpz2025@lpnu.ua

**ВИЛУЧЕННЯ ДЕФЕКТІВ НА ЗОБРАЖЕННЯХ ДРУКОВАНИХ
ПЛАТ ЗА ДОПОМОГОЮ ЧИСЕЛ, КОЛЬОРІВ ТА МАШИННОГО
НАВЧАННЯ**

Р. Мельник, Dr.Sci., О. Іванюк

Національний університет "Львівська політехніка", Україна

Анотація. Алгоритми стоншення, заповнення та нумерації використовуються для виявлення дефектів короткого замикання та обривів на зображеннях друкованих плат. Ланцюги з надлишком або нестачею металу визначаються шляхом порівняння кількості пікселів в еталонному та досліджуваному ланцюгах. Ознаки властивостей, отримані після нумерації, та відхилення кількості пікселів, отримані після заповнення, беруться як вхідні дані для навчання та тестування моделей машинного навчання.

Ключові слова: друкована плата, дефект, класифікація, заповнення, стоншення, нейронна мережа, машинне навчання.

Abstract. Thinning, filling, and numbering algorithms are used to detect short and open defects in PCB images. The chains with an excess or a lack of metal are determined by comparing the pixel amounts in the reference and sample chains. Features of properties received after numbering and pixel amount deviations received after filling are taken as input data for machine learning training and testing.

Keywords: printed circuit board, defect, classification, filling, thinning, neural network, machine learning.

Introduction. While modern PCB defect detection often relies on complex convolutional neural networks requiring massive datasets [1, 2, 3], this work proposes a streamlined approach combining flood-filling, skeletonization, and lightweight JavaScript-based artificial neural networks (ANN). By extracting numerical and color-based features from circuit traces, the method efficiently identifies short circuits, breaks, and abnormal metal filling without specialized datasets.

Methodology: Flood-Filling and Numbering. To separate and identify individual chains, the PCB image is overlaid with an $n \times m$ grid, forming a point set P_r . Grid nodes intersecting conductive traces form a subset $P_t \subset P_r$, which is partitioned into L subsets corresponding to individual chains: $P_t(p_{1t}, p_{2t}, \dots, p_{Lt}) = P_t(P_{1t}, P_{2t}, \dots, P_{Lt})$. A flood-filling algorithm is applied iteratively. Starting from an arbitrary node in P_t , it fills a continuous trace, assigns a unique chain identifier (NC), and blocks filled nodes for subsequent iterations. Filling correctness is validated when $|P_t| = \sum_{i=1}^L |P_{it}|$. This process generates an ordered cortege of chain identifiers for the reference image: $NC(I_r) = (1, 2, 3, \dots, L)$.

When processing a sample image (I_d), structural defects alter the chain count. Defective and newly formed chains are isolated via bitwise operations: $NC_t(I_{rd}) = [NC(I_r)] \text{ XOR } [NC(I_d)]$, $NC(I_{rs}) = [NC(I_r)] \text{ AND } [NC(I_{rd})]$ for missing reference chains, and $NC(I_{sd}) = [NC(I_d)] \text{ AND } [NC(I_{rd})]$ for newly formed chains. Comparing the number of missing chains (k) to newly formed chains (m) determines defect types: $m \geq 2k$ indicates open defects, $m \leq k/2$ identifies short circuits, and $k/2 < m < 2k$ signals the simultaneous presence of both defects.

For micro-filling defects, the algorithm measures pixel counts (p) per chain. Trace area deviation coefficients are computed as $C_i = p_{\text{reference}}/p_{\text{sample}}$, forming a vector $C = (C_1, C_2, \dots, C_L)$ evaluated against strict tolerance thresholds to detect insufficient or excessive metal on pads and tracks.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Machine Learning Classification and Results. Feature vectors generated by numbering (14-element) and fill-area deviations (16-element) feed lightweight ANNs ($[14/16] \rightarrow [24] \rightarrow [16] \rightarrow [2]$) trained on synthetic datasets (3,000 samples). To synthetically model open defects, missing chain identifiers were injected into the first nine vector positions, while short circuits added newly formed identifiers to the final five positions. Correct samples were represented as zero-filled vectors, whereas filling defects introduced deviations ranging from $\pm 2\%$ to $+5\%$. For connection defects, the network converged in 222 iterations, achieving 99.7% validation accuracy. For micro-filling defects, applying a feature scaling transformation ($Feature_{scaled} = |C_{current} - 1.0| \times 20$) prevented gradient stagnation, yielding 92.7% validation accuracy. Both models demonstrate highly accurate defect classification without deep convolutional overhead.

References

1. Jasiuniene, E., Raišutis, R., Samaitis, V., & Jankauskas, A. (2024). Comparison of different NDT techniques for evaluation of the quality of PCBs produced using traditional vs. additive manufacturing technologies: A survey. *Sensors*, 24(6), 1719. <https://doi.org/10.3390/s24061719>
2. Bhattacharya, A., & Cloutier, S. G. (2022). End to end deep learning framework for printed circuit board manufacturing defect classification. *Scientific Reports*, 12(1), Article 16302. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-16302-3>
3. Kim, J., Ko, J., Choi, H., & Kim, H. (2021). Printed circuit board defect detection using deep learning via a skip-connected convolutional autoencoder. *Sensors*, 21(15), 4968. <https://doi.org/10.3390/s21154968>

UDC 004.932

PECULIARITIES OF GRAYSCALE IMAGES SEGMENTATION IN MULTIDIMENSIONAL SPACE OF INFORMATION FEATURES

Dr.Sci., L. Akhmetshina¹⁽⁰⁰⁰⁰⁻⁰⁰⁰²⁻⁵⁸⁰²⁻⁰⁹⁰⁷⁾, **Ph.D., A. Yegorov**^{2(0000-0002-7558-785X)}

Oles Honchar Dnipro National University, Ukraine
EMAIL: ¹akhmlu1@gmail.com, ²for_students@ukr.net

ОСОБЛИВОСТІ СЕГМЕНТАЦІЇ НАПІВТОНОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ У БАГАТОВИМІРНОМУ ПРОСТОРИ ІНФОРМАЦІЙНИХ ОЗНАК

Dr.Sci., Л. Ахметшина, Ph.D., А. Єгоров

¹Дніпровський національний університет ім. О. Гончара, Україна

***Анотація.** Представлено алгоритм сегментації напівтонових зображень, який включає етапи розширення простору ознак, комплексної ортогоналізації та рекурсивної кластеризації типу-1 та типу-2. Показано, що поєднання потенціалу розкладання за сингулярними значеннями, переваг комплексних представлень для виділення низькоконтрастних меж та апарату нечіткої кластеризації забезпечує ефективну сегментацію. Досліджено вплив форми нечіткої функції належності типу-2 на чутливість та достовірність результату. Наведено експериментальні результати для медичного зображення.*

***Ключові слова.** Сегментація зображень, нечітка кластеризація типу-2, багатовимірний простір інформативних ознак.*

Abstract. An algorithm for grayscale image segmentation is presented. It includes stages of feature space expansion, complex orthogonalization, and type-1 and type-2 recursive clustering. It is shown that combining the potential of singular value decomposition, the advantages of complex representations for highlighting low-contrast boundaries and fuzzy clustering apparatus ensures effective segmentation. The type-2 fuzzy membership function form influence on the sensitivity and reliability of the result is researched. Experimental results are provided for medical image.

Keywords. Image Segmentation, Type-2 Fuzzy Clustering, Multidimensional Space of Information Features.

Images generated by various information, tracking, and diagnostic systems are often of insufficient quality for reliable analysis. Automatic image segmentation is one of the fundamental and most complex tasks in computer vision. The effectiveness of subsequent recognition and high-level interpretation of scenes directly depends on the accuracy of object and detail boundary localization during the segmentation stage.

This work describes the image segmentation algorithm that implements a multi-stage process (including the stages of descriptor expansion, complex orthogonalization, recursive clustering of type-1 and type-2), and to study the influence of the type-2 fuzzy membership function (FMT2) used for increasing the reliability and sensitivity of clustering.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

The proposed algorithm includes the following steps:

1. Scaling the original grayscale image I to the range $[0,1]$, resulting in the image I^1 , which is interpreted as type-1 fuzzy membership function (FMT1), and calculation FMT2 based on it. FMT2 is interpreted as an image and scaled to the range $[0,1]$ resulting in the image I^2 .
2. Image I^2 or I^1 brightness values window transformation (depending on the I^2 statistical characteristics, window size 3×3) and forming a 9-dimensional ensemble interpreted as image I^3 including the neighbouring pixels brightness (the 1st stage of input data space expanding).
3. Performing expanded original data orthogonal transformation (SVD) followed by automatic selection of the most significant components (I^{svd}) [1], modifying 1st component of I^{svd} and scaling I^{svd} to the range $[0, 1]$.
4. Forming matrix I^c using each pair of I^{svd} components and complex values, interpreting I^c as FMT1, calculating FMT2 based on it, and scaling all its components to the range $[0, 1]$, followed by SVD and selecting the most significant components, resulting in the matrix I_2^c .
5. Merging matrices I^{svd} and the most significant components of I_2^c into I^{svd-c} , interpreting all columns of I^{svd-c} , except 1st as FMT1 and obtaining FMT2 based on it, resulting in matrix I_1^{svd-c} , which is clustered by T2FCM method [2] with dynamic compression of the fuzzy membership function.
6. Obtaining matrix I^{T2} based on I_1^{svd-c} and MFT2 of the last step.
7. Applying SVD to I^{T2} , selecting the most significant components, as described in step 2 and obtaining output images I^{out} and I^{out-c} based on grayscale image I^s (formed as selected significant components weighted sum). I^{out} is based on I^s , I^{out-c} is based on I^s and the I_1^{svd-c} 1st component with following adaptive histogram equalization to both of them.

This work discusses various physical nature images segmentation by proposed algorithm. Figures 1b, 1c show the CT scan of the human brain (Figure 1 a) segmentation results, where location of the hematoma and its affected region is clearly identified.

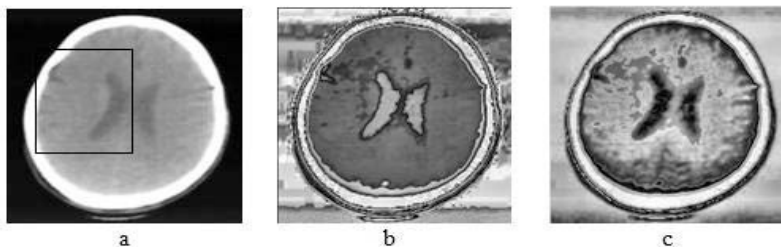


Figure 1. Brain CT scan processing: (a) original image; (b) I^{out} ; (c) $I^{out} - c$ (w/o step 6).

References

1. L. G. Akhmetshina, A. A. Yegorov, Segmentaciya slabokontrastnyh izobrazhenij v ortogonal'nom bazise funkcij prinadlezhnosti nechetkoj klasterizacii, Visnyk Hersons'kogo nacional'nogo tehnichnogo universytetu, 2(69), Part 2 (2019) 160–165.
2. L. Akhmetshina, A. Yegorov, Low-Contrast Image Segmentation by Using of the Type-2 Fuzzy Clustering Based on the Membership Function Statistical Characteristics, in: Intellectual Systems of Decision Making and Problems of Computational Intelligence (ISDMCI), Proceedings of XV International Scientific Conference, Springer, Kherson, 2019, pp. 689–700.

UDC 004.89:004.75

CONTEXT-AWARE ADAPTIVE DATA PROCESSING IN INTELLIGENT INFORMATION SYSTEMS

M. Pisotskyi^{1[0009-0009-0274-6758]}, **Ph.D., A. Botchkaryov**^{2[0000-0003-0970-1930]},
Dr.Sci., V. Hlukhov^{3[0000-0002-0542-7447]}

Lviv Polytechnic National University, Ukraine

EMAIL: ¹marian.o.pisotskyi@lpnu.ua, ²oleksii.y.bochkarov@lpnu.ua,
³valerii.s.hlukhov@lpnu.ua

КОТЕКСТНО-ЗАЛЕЖНА АДАПТИВНА ОБРОБКА ДАНИХ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

М. Пісоцький, Ph.D., О. Бочкарьов, Dr.Sci., В. Глухов
Національний університет «Львівська політехніка», Україна

Анотація. У роботі запропоновано контекстно-залежний підхід для адаптивної обробки даних в інтелектуальних інформаційних системах для забезпечення високої продуктивності їх роботи в умовах динамічних змін оточення та стану самих систем. Проведено експериментальне дослідження запропонованого підходу, результати якого демонструють підвищення якості класифікації при помірному збільшенні затримки обробки даних, що підтверджує доцільність запропонованого підходу в умовах динамічної зміни контексту.

Ключові слова: контекстно-залежні обчислення, інтелектуальні інформаційні системи, адаптивна обробка даних, дрейф контексту; адаптивні конвеєри обробки даних.

Abstract. The paper proposes a context-aware approach for adaptive data processing in intelligent information systems to ensure high performance in conditions of dynamic changes in the environment and the state of the systems themselves. An experimental study of the proposed approach has been conducted, the results of which demonstrate an increase in the quality of classification with a moderate increase in data processing delay, which confirms the feasibility of the proposed approach in conditions of dynamic context change.

Keywords: context-aware computing, intelligent information systems, adaptive data processing, context drift, adaptive data processing pipelines.

Intelligent information systems increasingly operate under continuously changing conditions caused by evolving data characteristics, computational resources, user behaviour and external environments [1, 2]. Conventional static data processing workflows gradually lose efficiency because they cannot adequately adapt to contextual changes, reducing prediction quality and resource utilization [3]. To address this challenge, a context-aware adaptive data processing approach is proposed.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

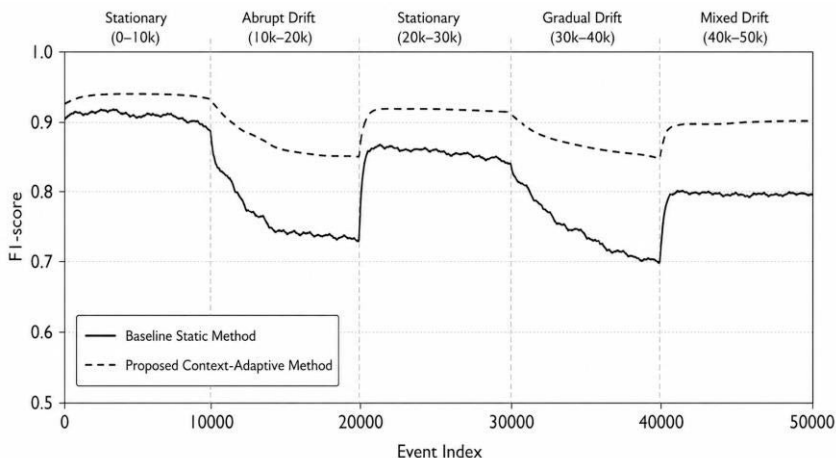


Figure 1. Classification performance under dynamic contextual conditions

The operational context is represented as a multidimensional feature vector describing workload characteristics, temporal information, computational resources, communication conditions and data quality. Pipeline modification is initiated only when contextual changes exceed predefined thresholds, alternative processing configurations are evaluated according to prediction quality, processing latency and computational resource consumption after detecting context drift.

The proposed approach was evaluated using a synthetic benchmark containing 50,000 contextual events with abrupt and gradual context drift, Gaussian noise, missing values and label perturbations. Experimental results (Fig. 1) demonstrated an improvement in Accuracy from 0.879 to 0.924, F1-score from 0.851 to 0.912, and ROC-AUC from 0.901 to 0.952, while increasing average processing latency by only 0.27 ms per event.

References

1. Bendig, D., & Bräunche, A. (2025). *The role of artificial intelligence algorithms in information systems research: A conceptual overview and avenues for research.* *Management Review Quarterly*, 75, 2863–2908. <https://doi.org/10.1007/s11301-024-00451-y>.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

2. Weyns, D., et al. (2023). *Self-adaptation in industry: A survey*. *ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems*, 18(2), 1–44. <https://doi.org/10.1145/3589227>.
3. Pisotskyi, M. (2026). *Context-aware computational model for adaptive big data processing pipelines*. In *Proceedings of the 18th IEEE International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)* (pp. 1–5). IEEE. <https://doi.org/10.1109/TCSET65181.2026.11461091>.

УДК 538.9:004.85

**EDGE-SCALING SOFTENING OF A UNIVERSAL MACHINE-
LEARNED POTENTIAL: POINT-DEFECT FORMATION ENERGIES
IN A CORONENE GRAPHENE QUANTUM DOT**

A. Tuzhykov¹[0009-0005-3853-9911], **Dr.Sci., V. Soloviev**^{1,3}[0000-0002-4945-202X],
Dr.Sci., A. Kiv^{1,2}[0000-0002-0991-2343], **A. Bielinskyi**^{3,4}[0000-0002-2821-2895]

¹ South Ukrainian National Pedagogical University named after K. D. Ushynsky,
Ukraine,

² Ben-Gurion University of the Negev, Israel,

³ Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman, Ukraine,

⁴ State University of Economics and Technology, Ukraine

EMAIL: ¹andrewtuzhykov@gmail.com, ²vsoloviev2016@gmail.com,

³kiv.arnold20@gmail.com, ⁴bielinskyi.andrii99@gmail.com

**КРАЙОВЕ ПОМ'ЯКШЕННЯ УНІВЕРСАЛЬНОГО МАШИННО-
НАВЧЕНОГО ПОТЕНЦІАЛУ: ЕНЕРГІЇ УТВОРЕННЯ
ТОЧКОВИХ ДЕФЕКТІВ У ГРАФЕНОВІЙ КВАНТОВІЙ ТОЧЦІ
КОРОНЕНУ**

A. Тузиков¹, **Dr.Sci., В. Соловійов**^{1,3}, **Dr.Sci., А. Ків**^{1,2}, **А.Бєлінський**^{3,4}

¹ДЗ «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К. Д.
Ушинського», Україна,

² Університет Бен-Гуріона в Негеві, Ізраїль,

³ Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана,
Україна,

⁴ Державний університет економіки і технологій, Україна

Abstract. This study evaluates systematic underestimation of point-defect formation energies by the universal SevenNet machine-learning interatomic potential

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

in the coronene graphene quantum dot $C_{24}H_{12}$. SevenNet is benchmarked against spin-polarized PBE/GPAW calculations for monovacancies, divacancies, and Stone–Wales defects. The error increases with edge under-coordination, whereas reconstruction ordering and symmetry-equivalent configurations are largely preserved, supporting MLIP screening with DFT validation of absolute vacancy energies.

Keywords: machine-learning interatomic potential, graphene quantum dot, coronene, point defects, formation energy, density functional theory, softening bias.

Анотація. Метою роботи є оцінювання систематичного заниження енергій утворення точкових дефектів універсальним машинно-навченим міжатомним потенціалом SevenNet у графеновій квантовій точці коронену $C_{24}H_{12}$. Результати SevenNet порівняно зі спін-поляризованими PBE/GPAW-розрахунками для моновакансій, дивакансій і дефектів Стоуна–Вейлза. Встановлено зростання похибки з крайовою недокоординованістю, тоді як відносно ранжування реконструкцій і симетрично еквівалентних конфігурацій переважно зберігається.

Ключові слова: машинно-навчений міжатомний потенціал, графенова квантова точка, коронен, точкові дефекти, енергія утворення, теорія функціонала густини, систематичне пом'якшення.

Universal machine-learning interatomic potentials (MLIPs) can substantially accelerate atomistic screening; however, systematic “softening” of the potential-energy surface has been identified for high-energy and far-from-equilibrium configurations [1]. In graphene, defect formation energies depend on reconstruction and the computational scheme [2], while edge chemistry becomes particularly important in small graphene fragments [3].

In coronene $C_{24}H_{12}$, monovacancies, divacancies, and Stone–Wales defects were investigated. Geometries were optimized using BFGS in ASE. SevenNet 7net-omni-i12, an E(3)-equivariant graph interatomic potential used without system-specific fine-tuning, served as the surrogate [4]. Reference energies were calculated with spin-polarized PBE/GPAW using a 400 eV cutoff and Γ -point sampling. For 28 vacancy and divacancy configurations, both models evaluated the same relaxed geometry with method-consistent chemical potentials; this control is necessary because highly disrupted defect states remain method-sensitive even at the DFT level [5].

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

For the Stone–Wales defect, the mean formation energies are 1.891 eV with DFT and 1.878 eV with SevenNet, a difference of only -0.013 eV. In contrast, SevenNet yields lower values for all 28 vacancy configurations. For monovacancies, the mean deficit increases from 0.30 to 0.74 eV when one edge C–H bond is broken; for divacancies, it increases from 0.65 to 0.86 and 1.11 eV for zero, one, and two broken bonds, respectively. Thus, the error is not a constant offset but depends on defect type and local under-coordination.

At the same time, SevenNet preserves the ordering of three hydrogen-dependent edge-divacancy reconstructions: DFT gives 5.80, 2.56, and 0.77 eV, while the MLIP gives 4.69, 1.89, and 0.15 eV. The model also reproduces D_{6h} -equivalent sites with a spread of only a few meV, making symmetry spread a practical indicator of transitions between reconstruction basins. SevenNet is therefore suitable for rapid screening and ranking, whereas absolute energies of edge and radical-like vacancies should be validated by DFT.

References

1. Deng, B., Choi, Y., Zhong, P., Riebesell, J., Anand, S., Li, Z., Jun, K., Persson, K. A., & Ceder, G. (2025). Systematic softening in universal machine learning interatomic potentials. *npj Computational Materials*, 11, 9. <https://doi.org/10.1038/s41524-024-01500-6>
2. Skowron, S. T., Lebedeva, I. V., Popov, A. M., & Bichoutskaia, E. (2015). Energetics of atomic scale structure changes in graphene. *Chemical Society Reviews*, 44(10), 3143–3176. <https://doi.org/10.1039/C4CS00499J>
3. Santana, A., Popov, A. M., & Bichoutskaia, E. (2013). Stability and dynamics of vacancy in graphene flakes: Edge effects. *Chemical Physics Letters*, 557, 80–87. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2012.11.077>
4. Park, Y., Kim, J., Hwang, S., & Han, S. (2024). Scalable parallel algorithm for graph neural network interatomic potentials in molecular dynamics simulations. *Journal of Chemical Theory and Computation*, 20(11), 4857–4868. <https://doi.org/10.1021/acs.jctc.4c00190>
5. Thomas, D. M., Asiri, Y., & Drummond, N. D. (2022). Point defect formation energies in graphene from diffusion quantum Monte Carlo and density functional theory. *Physical Review B*, 105(18), 184114. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.105.184114>

UDC 004.8:622.7

NEURAL NETWORK OPTIMIZATION FOR OBJECT CLASSIFICATION IN SENSOR-BASED ORE SORTING SYSTEMS

D. Kondrashov¹[0009-0008-6751-925X], Ph.D., I. Muzyka²[0000-0002-9202-2973],
Ph.D., O. Markova³[0000-0002-5236-6640], Ph.D., Yu. Kumchenko⁴[0000-0001-9940-4854]

Kryvyi Rih National University, Ukraine

EMAIL:¹kondrashov.dmitriy@knu.edu.ua, ²musicvano@knu.edu.ua,

³markova@knu.edu.ua, ⁴kumchenko@knu.edu.ua

ОПТИМІЗАЦІЯ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ У СИСТЕМАХ СЕНСОРНОГО СОРТУВАННЯ РУД

Д. Кондрашов, Ph.D., І. Музика, Ph.D., О. Маркова, Ph.D., Ю. Кумченко

Криворізький національний університет, Україна

Анотація. Представлено другий етап дослідження автоматичної класифікації просторових станів об'єктів у системах сенсорного сортування рудної сировини на основі карт висот і згорткової нейронної мережі (CNN). Виконано систематичний пошук оптимальних гіперпараметрів навчання (кількість епох, розмірність карти, швидкість навчання) методом grid search та визначено рекомендовану конфігурацію: 25 епох, розмірність карти 64×64, швидкість навчання 0,001. Теоретично та практично обґрунтовано, що клас Overlapped є найважчим для розрізнення й водночас принципово некерованим для пневматичних відбраковувачів. Перехід до двокласової постановки задачі (Single/United) з виключенням класу Overlapped підвищує якість класифікації практично значущих класів.

Ключові слова: сенсорне сортування руд, карта висот, згорткова нейронна мережа, гіперпараметри, клас Overlapped, двокласова класифікація.

Abstract. This study presents the second stage of research on automatic classification of the spatial states of objects in sensor-based ore sorting systems using height maps and a convolutional neural network (CNN). A systematic grid search for optimal training hyperparameters (number of epochs, batch size, learning rate) was carried out, and the recommended configuration was determined: 25 epochs, batch size 64×64, learning rate 0.001. It is theoretically and practically justified that the Overlapped class is the hardest to distinguish and, at the same time, inherently uncontrollable for pneumatic ejectors. Reformulating the task as a two-class problem

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

(Single/United) by excluding the Overlapped class improves the classification quality of the practically relevant classes.

Keywords: ore sorting, height map, convolutional neural network, hyperparameters, Overlapped class, two-class classification.

Sensor-based ore sorting increasingly relies on machine vision and deep learning to assess raw material moving along the conveyor. In previous work, the authors classified three spatial states of ore pieces (Single, United, and Overlapped) from two-dimensional height maps derived from 3D laser-scanning point clouds, using a deep CNN that reached about 92% validation accuracy at a 64×64 map resolution. However, the training hyperparameters were selected heuristically, and analysis of the confusion matrix showed that the vast majority of misclassifications involved the Overlapped class.

This study pursues two goals: a systematic search for the optimal training hyperparameters of the CNN, and justification for excluding the Overlapped class from the classification task, together with analysis of how this exclusion affects the discrimination of the remaining classes.

For hyperparameter tuning, a grid search with a fixed 70/30 stratified split was applied to the number of epochs, the mini-batch size, and the Adam learning rate, using validation accuracy as the optimization metric and the gap between training and validation accuracy as a stability criterion. The experiments show that accuracy grows up to 25 epochs and then plateaus; a batch size of 64 provides the best trade-off between accuracy and training time; and a learning rate of 0.001 is optimal. The recommended configuration (64×64 map, 25 epochs, batch size 64, learning rate 0.001), combined with a ReduceLROnPlateau scheduler, improves training stability and reduces the train-validation accuracy gap compared with the baseline used previously.

The Overlapped state, in which one ore piece partially lies over another, is not only the hardest to distinguish algorithmically but also physically unmanageable. Industrial sorters reject material with pneumatic valves; selective rejection of one object without affecting a neighbouring one requires their horizontal footprints to be disjoint. Since overlapping pieces share a common horizontal projection, a single air pulse inevitably affects both of them, so selective rejection is impossible by construction. Accordingly, in the three-class setting this class yields the lowest metrics (F1-score = 0.31) and is systematically confused with United.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Excluding Overlapped and reformulating the task as a two-class problem (Single vs United) removes the borderline samples that competed with United during training and added extra variability to the feature space. Because both settings are evaluated on the same Single/United subsample, McNemar's paired test is used to confirm that the observed improvement is statistically significant rather than a result of random sampling variation. The two-class model demonstrates higher classification quality for the practically relevant classes.

Thus, the systematic hyperparameter search yields a configuration that balances accuracy and robustness, while the Overlapped class is confirmed to be both the main source of errors and inherently uncontrollable for standard pneumatic ejectors. The recommended strategy is therefore a two-class classifier (Single/United) supplemented by a separate anomaly detector that flags overlapped pieces without including them in the main classification task. Future work includes validating such an anomaly detector, combining height-map geometry with spectral data to better separate United and Overlapped, and testing the approach on a broader range of real ore data.

УДК 004.932.2

**TILEFUSION: EFFICIENT TILING FOR SMALL OBJECT
DETECTION IN HIGH RESOLUTION AERIAL IMAGES**

Dr.Sci., V. Sineglazov^{1[0000-0002-3486-2287]}, **M. Savchenko**^{2[0009-0004-4072-5409]}

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",
Ukraine*

EMAIL: ¹v.syniehlazov@kpi.ua, ²m.savchenko@kpi.ua

**TILEFUSION: ЕФЕКТИВНИЙ МЕТОД НАРІЗКИ КАДРУ ДЛЯ
ВИЯВЛЕННЯ МАЛИХ ОБ'ЄКТІВ В АЕРОЗОБРАЖЕННЯХ
ВИСОКОЇ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ**

Dr.Sci., В. Синеглазов, М. Савченко

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», Україна*

***Анотація.** Запропоновано TileFusion – метод інференсу на основі нарізки
кадру для виявлення малих об'єктів у зображеннях високої роздільної здатності*

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

за обмеженої пам'яті. Метод розбиває кадр на неперетинні області з ореолом рецептивного поля та правилом закріплення за центром. Це усуває дублікати без необхідності застосування алгоритму призначення немаксимумів. Експерименти підтверджують збереження точності за 3,7-кратного зменшення пікового споживання пам'яті.

Ключові слова: виявлення малих об'єктів, високороздільні зображення, нарізка кадру, рецептивне поле, YOLOv8, периферійні обчислення.

Abstract. TileFusion is proposed as a memory-bounded frame-slicing inference method for small object detection in high-resolution aerial imagery. The frame is partitioned into disjoint valid regions expanded by a receptive field halo with center-based ownership. This eliminates cross-tile Non Maximum Suppression and duplicate detections. Benchmarks confirm full-resolution accuracy parity with up to 3.7 times lower peak memory.

Keywords: small object detection, high-resolution imagery, frame-slicing inference, receptive field, YOLOv8, edge computing.

High-resolution aerial and satellite images contain small targets of 15–40 pixels destroyed by downscaling. Full-resolution native passes preserve targets but cause activation memory to scale with frame area, exceeding edge RAM (e.g., NVIDIA Jetson Orin). Slicing methods like SAHI [1] reduce memory using overlapping tiles, incurring redundant compute and requiring global Non-Maximum Suppression (NMS) to eliminate duplicate seam detections.

TileFusion eliminates cross-tile NMS and guarantees bounded memory using effective receptive field halos [2] and streaming concepts [3]. The frame domain Ω is partitioned into disjoint valid regions $\{V_k\}$ ($\bigcup V_k = \Omega, V_i \cap V_j = \emptyset$). Each region is extended by a halo $h \geq r$, where r is the detector's effective receptive field radius [2]. Crops $C_k = (V_k \oplus B_h) \cap \Omega$ are processed sequentially by a stock YOLOv8 detector [4]. A detection d is retained only if its center $c(d) \in V_k$. Since valid regions strictly partition the frame, every detection has exactly one owner, enabling concatenation without global NMS. Sequential execution bounds peak memory to $M = M_\theta + \alpha(s + 2h)^2$, independent of frame resolution (H, W) .

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

We evaluated TileFusion on xView satellite scenes [5] with 15–40 px sized vehicles, up to 16 MP and NTUT 4K drone video with people using YOLOv8s with a 256 px halo.

Table 1. Performance and Peak Memory Comparison

Method	xView		NTUT 4K	
	mAP50	RAM (MB)	mAP50	RAM (MB)
Downscaled (1280 px)	0.314	246	0.223	465
Full resolution	0.804	2793	0.189	1820
SAHI [1]	0.798	657	0.177	650
TileFusion (Ours)	0.806	759	0.189	760

On xView, downscaling to 1280 px yields only 0.314 mAP50, while full resolution reaches 0.804. TileFusion matches full resolution at 0.806 mAP50 while reducing peak memory from 2793 MB to 759 MB ($3.7\times$). On NTUT 4K, TileFusion maintains accuracy parity (0.189 mAP50) at $2.4\times$ lower memory (760 MB vs 1820 MB). The 256 px halo provides exact feature representation, while center ownership eliminates duplicate seam detections. TileFusion thus provides an exact, memory-bounded drop-in wrapper for edge deployment.

References

1. Akyon, Fatih Cagatay, Altinuc, Sinan Onur, & Temizel, A. (2022). Slicing aided hyper inference and fine-tuning for small object detection. 2022 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). <https://doi.org/10.1109/icip46576.2022.9897990>
2. Luo, W., Li, Y., Urtasun, R., & Zemel, R. (2017). Understanding the effective receptive field in deep convolutional neural networks. arXiv (Cornell University). <https://doi.org/10.48550/arxiv.1701.04128>
3. Pinckaers, H., van Ginneken, B., & Litjens, G. (2022). Streaming convolutional neural networks for end-to-end learning with multi-megapixel images. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 44(3), 1581–1590. <https://doi.org/10.1109/tpami.2020.3019563>
4. Jocher, G., et al. (2023). *Ultralytics YOLOv8*. <https://github.com/ultralytics/ultralytics>

**International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"**

5. Lam, D., Kuzma, R., McGee, K., Dooley, S., Laielli, M., Klaric, M., Bulatov, Y., & McCord, B. (2018). xView: Objects in context in overhead imagery. arXiv (Cornell University). <https://doi.org/10.48550/arxiv.1802.07856>

УДК 004.92:004.8

**APPLICATION OF NEURAL NETWORKS FOR COLOR
INFORMATION CONVERSION**

**Dr.Sci., B. Kovalskyi^{1[0000-0001-9088-1144]}, Ph.D., N. Zanko^{2[0000-0002-4445-3576]},
A. Zanko^{3[0009-0009-2961-8959]}, Ph.D., V. Bernatsek^{4[0000-0001-8955-1762]}**

Lviv Polytechnic National University, Ukraine

EMAIL: ¹bohdan.m.kovalskyi@lpnu.ua, ²nataliia.v.zanko@lpnu.ua,

³andrii.s.zanko@lpnu.ua, ⁴volodymyr.v.bernatsek@lpnu.ua

**ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ПЕРЕТВОРЕННЯ
КОЛІРНОЇ ІНФОРМАЦІЇ**

Dr.Sci., Б. Ковальський, Ph.D., Н. Занько, А. Занько, Ph.D., В. Бернацек
Національний університет «Львівська політехніка», Україна

***Анотація.** У дослідженні представлено пошук нових підходів до моделювання перетворення колірної інформації між колірними просторами. Запропоновано використання моделей глибокого навчання DNN та MDN для перетворень між CIELAB і CMYK. Моделі навчено на характеристичних даних FOGRA51, а ефективність їх застосування оцінено за результатами теоретичної й експериментальної перевірки. Встановлено високу точність прямого перетворення CMYK→CIELAB, проте точність зворотного перетворення є недостатньою для практичного застосування. Показано перспективність використання MDN для вибору оптимальної стратегії кольороподілу.*

***Ключові слова:** кольороподіл, нейронні мережі, колірний простір, ICC-профіль, колірна різниця, умови друку, характеристичні дані, перетворення колірної інформації.*

***Abstract.** The study investigates new approaches to modeling color information conversion between color spaces. The use of Deep Neural Network (DNN) and Mixture Density Network (MDN) models for color information conversion between CIELAB and CMYK is proposed. The models were trained using FOGRA51 characterization data, and the effectiveness of their application was evaluated through theoretical and experimental verification. High accuracy was achieved for*

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

the forward CMYK→CIELAB conversion, whereas the accuracy of the inverse CIELAB→CMYK conversion remains insufficient for practical application. The results demonstrate the potential of the MDN model for selecting an optimal color separation strategy.

Keywords: color separation, neural networks, color space, ICC profile, color difference, printing conditions, characterization data, color transformation

Reliable prediction of the perceived color appearance of visual stimuli is an important practical task in various fields dealing with color images, including photography, printing, video, television, and web technologies. The primary objective is to standardize the reproduction process in order to ensure predictable color conversion results. One of the promising approaches to addressing this problem is the application of artificial intelligence technologies. Recent studies have explored various machine learning methods for performing and optimizing color information conversion. In particular, Artificial Neural Networks (ANN) [1], Deep Neural Networks (DNN) [2], Radial Basis Function (RBF) networks [3], and other approaches have been employed. However, most existing studies have focused on relatively simple transformations, such as RGB → CIEXYZ and RGB → CIELAB.

To model the conversion between the CIELAB and CMYK color spaces, two deep learning models, Deep Neural Network (DNN) and Mixture Density Network (MDN), were employed. Their selection was motivated by the fact that they implement two different approaches to approximating the relationship between input and output data. DNN is a deterministic model that produces a single predicted solution for each input value, whereas MDN is a probabilistic model capable of representing multiple possible outputs for a single input. Instead of producing a single fixed output, MDN estimates the parameters of a mixture of probability distributions describing possible solutions. Each mixture component is associated with a mixing coefficient that represents the probability of the corresponding solution. Consequently, for a single input value, the model can generate several potential CMYK combinations, each characterized by its own probability and representing an alternative color separation solution.

The models were trained using the FOGRA51 characterization data [4], which contain experimentally determined color coordinates in the CIELAB

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

color space and the corresponding CMYK process ink values for standard offset printing conditions in accordance with ISO 12647-2 [5]. The study was carried out for two transformation directions: CMYK $\rightarrow$ CIELAB and CIELAB $\rightarrow$ CMYK.

The accuracy of the models was evaluated in two stages. At the first stage, a theoretical evaluation was performed by comparing the transformation results with the FOGRA51 reference data. Color differences calculated using the CIE1976 and CIEDE2000 formulas were used as accuracy metrics. At the second stage, an experimental verification was carried out after printing a test image on a Xerox 700i digital press, followed by spectrophotometric measurements of the color coordinates of the printed samples. The theoretical evaluation demonstrated that both models provide high accuracy for the forward CMYK $\rightarrow$ CIELAB transformation. For more than 95% of the test samples, the ΔE values did not exceed 2.5, corresponding to virtually imperceptible color differences. For the inverse CIELAB $\rightarrow$ CMYK transformation, the color difference values increased substantially. The mean ΔE values were 4.527 for the DNN model and 4.017 for the MDN model. No significant advantage of the MDN model over DNN was observed, which is attributed to the optimization criterion aimed at minimizing the total ink coverage. The practical verification after printing confirmed a decrease in the accuracy of both models compared with the theoretical evaluation. For more than 20% of the printed samples, the ΔE values exceeded 5, indicating that the proposed approach cannot yet be considered ready for practical use. At the same time, the MDN model demonstrates promising potential for color separation tasks owing to its ability to generate several admissible CMYK combinations for a single CIELAB value, followed by the selection of the optimal solution according to predefined criteria.

References

1. Fdhal, N., Kyan, M., Androutsos, D., & Sharma, A. (2009). Color space transformation from RGB to CIELAB using neural networks. In *Pacific-Rim Conference on Multimedia* (pp. 1011–1017). Springer.
2. MacDonald, L. (2019). Color space transformation using neural networks. In *Color and Imaging Conference* (Vol. 2019, pp. 153–158). Society for Imaging Science and Technology.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

3. Cao, C. J., & Liu, Q. J. (2011). Study on color space conversion based on RBF neural network. *Advanced Materials Research*, 174, 28–31.
4. FOGRA Research Institute for Media Technologies. (n.d.). FOGRA characterization data and ICC profiles. <https://www.fogra.org/en/fogra-standardization/fogra-characterizationdata/a-icc-en.html>
5. International Organization for Standardization. (2013). *ISO 12647-2:2013 Graphic technology – Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints – Part 2: Offset lithographic processes*. ISO.

УДК 004.8:004.032.26

**DEVELOPMENT OF A HYBRID NEURAL NETWORK MODEL
FOR SENSOR SIGNAL FORECASTING**

Ph.D., O. Laktionov^{1[0000-0002-5230-524X]}, **Ph.D., A. Yanko**^{2[0000-0003-2876-9316]},
Ph.D., S. Liubarskyi^{3[0000-0001-8068-1106]}

^{1,2}National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Ukraine,

³Military Institute of Telecommunications and Informatization Technologies named
after Heroes of Kruty, Ukraine

EMAIL: ¹itm.olaktionov@nupp.edu.ua, ²a19_yanko@ukr.net,

³sergii.liubarskyi@viti.edu.ua

**РОЗРОБКА ГІБРИДНОЇ МОДЕЛІ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ
ПРОГНОЗУВАННЯ СИГНАЛІВ СЕНСОРІВ**

Ph.D., O. Лактіонов¹, Ph.D., А. Янко², Ph.D., С. Любарський³

^{1,2}Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія
Кондратюка», Україна,

³Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут,
Україна

Анотація. Розглянуто процес створення гібридної нейронної мережі для прогнозування стану сигналів сенсорів промислових механізмів. Особливістю запропонованої мережі є ефективне врахування нелінійних процесів завдяки використанню принципу синхронізації, що реалізований на основі ядра хі-квадрат. Отримані результати підтверджують високу точність моделювання. Дослідження має практичну цінність для ІТ-компаній, які розробляють власні штучні інтелектуальні системи, моделі або навчають мережі на специфічних промислових датасетах.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Ключові слова: гібридна нейронна мережа, прогнозування сигналів сенсорів, принцип синхронізації, ядро хі-квадрат, цифрові двійники, штучний інтелект.

Abstract. This study outlines the creation of a hybrid neural network for forecasting sensor signals in industrial machinery. The distinctive feature of the proposed network is its accounting for nonlinear processes using a synchronization principle implemented via a chi-square kernel. The obtained results confirm high modeling accuracy. This research provides practical value for IT companies developing proprietary artificial intelligence models, systems, or training neural networks on custom industrial datasets.

Keywords: hybrid neural network, sensor signal forecasting, synchronization principle, chi-square kernel, digital twins, artificial intelligence.

Виробники технологій в Україні орієнтовані на швидку виведення продуктів на ринок, інтегруючи готові рішення у власні розробки. Паралельно трансформуються цифрові продукти, зокрема інструменти штучного інтелекту (ШІ) [1]. Для створення власних рішень ІТ-компанії часто адаптують відомі концепції та прикладні напрацювання в галузі інтелектуальних систем [2], більшість з яких мають гібридну архітектуру. Це пояснюється простотою їх створення, оскільки не потребується поглиблених знань математики. Не виключенням є і запропонована гібридна модель нейронної мережі, яка працює за синхронним принципом:

$$K_{l,j}(x_{in}) = \frac{1}{D} \sum_{d=1}^D \exp \left(\underbrace{\left(\frac{k_{l,j}}{2} - 1 \right) \ln(\Delta_d^2) - \frac{\Delta_d^2}{2}}_{\text{log_numerator}} - \underbrace{\left(\frac{k_{l,j}}{2} \ln(2) + \ln \Gamma \left(\frac{k_{l,j}}{2} \right) \right)}_{\text{log_denominator}} \right),$$

де $\Delta_d^2 = (x_{in,d} - c_{l,j,d})^2 + 10^{-8}$ – квадрат відстані до центру; d – індекс розмірності; $k_{l,j} = |df_{l,j}| + 0,5$ – скориговані ступені свободи; Γ – Гамма-функція.

Далі здійснюється оновлення входу:

$$x_{in}^{(l+1)} = W_{proj} \cdot \left[x \square \text{avg} \left(K_l(x_{in}^{(l)}) \right) \right] + b_{proj},$$

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

де X_{in} – це завжди «чистий» вхід моделі; $\text{avg}(K_i)$ середнє значення ядер поточного блоку; W_{proj} – проєкційна матриця; b_{proj} – параметр зсуву.

На початкових етапах дослідження було проведено аналіз різноманітних архітектурних рішень. Зокрема, механізм синхронізації початково реалізовувався шляхом обчислення середнього арифметичного значень двох незалежних моделей. На подальших етапах апробовано варіації функцій активації та експериментально визначено оптимальну кількість ядер хі-квадрат. Детальну карту проведених досліджень та їх етапи висвітлено у праці [3]. Порівняльний аналіз ефективності запропонованої моделі здійснювався на основі тестового датасету [4]. Результати експериментів підтвердили вищу точність розробленого підходу порівняно з класичними лінійними моделями (включаючи лінійну регресію та її модифікації). Перспективи подальших досліджень полягають у модернізації мережі шляхом інтеграції принципів градієнтного бустингу, які потенційно дозволять підвищити точність прогнозування. Попри це, поточна версія моделі демонструє високу адаптивність і рекомендується до застосування в задачах прогнозування часових рядів, зокрема для моніторингу та діагностики станів сенсорів робототехнічних систем.

Література

1. Янко, А. С., & Мизюра, М. С. (2026). Модель персоналізації навчального процесу через інтеграцію LLM у вебзастосунок із динамічною генерацією пояснень. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*, 16(1), 255–263. <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2026-16-1-29>
2. Янко, А. С., & Мизюра, М. С. (2026). Метод адаптивного керування траєкторією навчання в інтелектуальних системах на основі семантичного аналізу помилок. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, 1(2), 457–465. <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2026.2.1.45>
3. Laktionov, A. (2024). KAN 1. Kaggle. <https://www.kaggle.com/code/alexanderlaktionov/kan-1>

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

4. Sam, M. (2023). *Predictive maintenance of aircraft engines*. Kaggle.
<https://www.kaggle.com/code/marilousam/predictive-maintenance-of-aircraft-engines>

UDC 004.9

**POST-TRAINING ADAPTIVE NEURAL NETWORK FOR
EFFICIENT WEED SEGMENTATION**

Ph.D., K. Khabarlak^[0000-0003-4263-0871]

Dnipro University of Technology, Ukraine

EMAIL: Khabarlak.K.S@nmu.one

**АДАПТИВНА ПІСЛЯ НАВЧАННЯ МЕРЕЖА ДЛЯ ЕФЕКТИВНОЇ
СЕГМЕНТАЦІЇ БУР'ЯНІВ**

Ph.D., К.С. Хабарлак

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Анотація. У цій роботі запропоновано новий метод сегментації бур'янів в сільськогосподарських угіддях для подальшого їх видалення роботизованими пристроями, який дозволяє навчити цільову нейронну мережу один раз, а після цього змінювати кількість її параметрів в залежності від обчислювальної потужності кордонного пристрою. Запропоновано підхід для збільшення діапазону зміни обчислювальних ресурсів до 32.34%, що значно вище попередніх робіт, при цьому забезпечуючи високу якість сегментації – Dice score найбільшої конфігурації: 0.5112.

Ключові слова: видалення бур'янів, точне землеробство, сегментація на пристрої, кордонні обчислення, динамічна нейронна мережа, моніторинг стану посівів.

Abstract. This paper proposes a new method for segmenting weeds in agricultural fields for their subsequent removal by robotic devices, which allows the target neural network to be trained once and then have the number of its parameters adjusted depending on the computational power of the edge device. We propose an approach to increase the range of computing resources by up to 32.34%, which is significantly higher than that of previous works, while ensuring high segmentation quality. The Dice score for the largest configuration is 0.5112.

Keywords: weed removal, precision agriculture, on-device segmentation, edge computing, dynamic neural network, crop field health monitoring.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Ensuring sustainable and high agricultural outputs requires continuous intervention in plant growth, from targeted fertilization to pest and weed control. While automated systems can adjust fertilization and pesticide application based on real-time perception, weed removal remains the most demanding task because it must differentiate between crops and unwanted vegetation without harming the former. Consequently, accurate and timely weed segmentation is essential. Furthermore, field conditions often preclude reliable Internet connectivity, necessitating fully on-device processing. In this context, a model that can dynamically adjust its computational intensity according to hardware capabilities is highly desirable.

Recent research has demonstrated that Post-Train Adaptive (PTA) [1] networks can modify their compute budget after training without additional parameter updates. In this work we embed a PTA encoder within the PAN [2] segmentation architecture and equip it with width multipliers that scale the channel dimensions of each block. This combination yields a single trained model capable of toggling among multiple configurations while preserving the same learned parameters [3]. This simple scaling yields a family of models that retain the same learned weights but differ in FLOP counts. Training employs the Dice loss, which has proven effective for highly imbalanced segmentation tasks, and incorporates PTA sampling to ensure that all configurations receive gradient contributions during learning. The model is trained on the WE3DS dataset using stochastic gradient descent.

To assess the efficacy of PAN+PTA, we benchmark four width multipliers (0.75, 1.00, 1.50, and 2.00) against a PAN baseline that uses MobileNetV2 as its encoder. The configuration space includes light, both, and heavy configurations, each corresponding to a distinct compute budget. Based on experimental results, the PAN+PTA architecture expands the operational complexity span from a narrow 3.66 % (U-Net+PTA with multiplier=1.0) to a wide 31.15 % (with multiplier=1.0) and up to 32.34 % (with multiplier=1.5). The heavy configuration (multiplier=1.5) achieves the highest Dice score of 0.5112, outperforming both the baseline and the previously reported U-Net+PTA model (best Dice = 0.4348).

Conclusions. We have introduced PAN+PTA, a dynamic segmentation architecture that combines a Post-Train Adaptive encoder with a Pyramid Attention Network backbone and width-scaling multipliers. The resulting

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

model expands the usable computational range to more than 32 % between its lightest and heaviest modes and enables on-device reconfiguration without retraining. By providing a single set of parameters that can be tuned to match the processing capabilities of heterogeneous edge hardware, PAN+PTA enables autonomous weed-removal systems that operate reliably in real-time. Future work will extend to additional crop and weed species, integrate disease and pest detection pipelines.

References

1. Khabarlak, K. (2022). Post-train adaptive MobileNet for fast anti-spoofing. Proceedings of the 3rd International Workshop on Intelligent Information Technologies & Systems of Information Security, Khmelnytskyi, Ukraine, March 23-25, 2022, CEUR Workshop Proceedings, 3156, 44–53. <http://ceur-ws.org/Vol-3156/keynote5.pdf>
2. Li, H., Xiong, P., An, J., & Wang, L. (2018). Pyramid attention network for semantic segmentation. British Machine Vision Conference 2018, BMVC 2018, Newcastle, UK, September 3-6, 2018, 285. <http://bmvc2018.org/contents/papers/1120.pdf>
3. Udovik, I., & Khabarlak, K. (2026). Improved small agricultural plant segmentation using post-training adaptive neural network. Computer Systems and Information Technologies, (1), 118–124. <https://doi.org/10.31891/csit-2026-1-11>

UDC 004.89

MULTI-PROVIDER RAG ARCHITECTURE FOR FLEXIBLE EDUCATIONAL CHATBOTS

Ph.D., M. Tiahunova^{1[0000-0002-9166-5897]}, Ph.D., H. Kyrychek^{2[0000-0002-0405-7122]},
K. Filippenkov^{3[0009-0008-6720-5728]}

National University Zaporizhzhia Polytechnic, Ukraine
EMAIL: ¹mary.tyagunova@gmail.com, ²kirgal08@gmail.com,
³filippenkovkyryll@gmail.com

МУЛЬТИПРОВАЙДЕРНА RAG-АРХІТЕКТУРА ДЛЯ ГНУЧКИХ ОСВІТНІХ ЧАТБОТІВ

Ph.D., М. Тягунова, Ph.D., Г. Киричек, К. Філіпенков
Національний університет «Запорізька політехніка», Україна

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

***Анотація.** У роботі запропоновано концептуальну мультипровайдерну архітектуру Retrieval-Augmented Generation (RAG) для освітніх чат-ботів, яка забезпечує інтеграцію локальних і хмарних великих мовних моделей. Архітектура передбачає єдиний механізм взаємодії із провайдерами моделей, підтримує налаштування параметрів пошуку та може адаптуватися до вимог закладів освіти. Запропонований підхід спрямований на підвищення гнучкості, ефективності використання обчислювальних ресурсів і рівня захисту даних у системах підтримки навчального процесу.*

***Ключові слова:** стратегії фрагментації, глибина пошуку, вибір моделі, STEM-освіта, LLM-фреймворки.*

Abstract. This work presents a conceptual multi-provider Retrieval-Augmented Generation (RAG) architecture for educational chatbots integrating both local and cloud-based large language models. The proposed architecture provides a unified interface for model providers, supports configurable retrieval parameters, and can be adapted to the requirements of educational institutions. The approach is intended to improve system flexibility, resource efficiency, and data protection in AI-assisted learning environments.

Keywords: chunking strategies, retrieval depth, model selection, STEM education, LLM frameworks.

Educational institutions are increasingly adopting Large Language Models (LLMs) for intelligent learning support; however, reliance on a single commercial provider raises concerns related to cost, data privacy, regulatory compliance, and system availability. To address these challenges, this paper proposes a conceptual multi-provider Retrieval-Augmented Generation (RAG) architecture that enables flexible integration of local and cloud-based LLMs through a unified abstraction layer. By combining LLMs with external knowledge sources, the RAG approach improves response accuracy, reduces hallucinations, and grounds answers in course materials and institutional resources [1]. The provider-agnostic design enables seamless switching between local and cloud-based LLMs while supporting flexible retrieval strategies, including text chunking, retrieval depth, and history-aware query reformulation. These capabilities allow the system to adapt to diverse educational scenarios, improving scalability, data protection, and deployment flexibility [2].

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

The developed framework provides unified management of LLM providers, models, and embedding services, allowing educational institutions to select deployment configurations that best match their technical capabilities and organizational requirements. To ensure efficient operation, it incorporates caching mechanisms for documents, embeddings, and vector indexes with automatic invalidation when data or configuration settings change. Built on modern LLM frameworks, the solution integrates provider abstraction, retrieval pipelines, and user interfaces into a modular and extensible RAG ecosystem suitable for a wide range of educational applications [3].

The presented architecture supports educational scenarios including lecture material exploration, programming documentation assistance, and research paper analysis by grounding responses in institutional knowledge sources. Conversation export and import enable reflection, reproducibility, and continuity of learning, transforming chatbot interactions into documented learning artifacts. The system supports local, cloud-based, and hybrid deployment models, allowing educational institutions to balance cost, privacy, computational resources, and performance according to their requirements. A comparative cost analysis indicates that the optimal deployment strategy depends on institution size, query volume, and privacy requirements, with hybrid architectures providing the best balance between operational cost and performance. A prototype based on Python, LangChain, Streamlit, FAISS, and multiple LLM providers validated runtime provider switching, configurable retrieval, history-aware query reformulation, and grounded responses with source citations. Experimental evaluation on a single CPU using Mistral 7B via Ollama achieved a document indexing rate of approximately 500 pages per minute, query latency of 1.5–3 s for local inference (2–8 s for cloud providers), and memory consumption of 4–6 GB, demonstrating the practical feasibility of the proposed architecture.

References

1. I. Solohubov, A. Moroz, M. Y. Tiahunova, H. H. Kyrychek, S. Skrupsky. Accelerating software development with ai: exploring the impact of chatgpt and github copilot / CEUR, 2023, vol. 3679. 76–86. url: <https://ceur-ws.org/Vol-3679/paper17.pdf>.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

2. D. Grigorov. Langchain and python: Advanced components. Intermediate Python and Large Language Models, 2025. pp. 59–137. https://doi.org/10.1007/979-8-8688-1475-4_2.
3. R. Purushothaman. A comprehensive analysis of consumer behavior of OpenAi. Available at SSRN 5146257, 2025. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5146257>.

UDC 004.932

**FACE RECOGNITION BY CIRCLE DISTRIBUTED HISTOGRAMS
AND MACHINE LEARNING**

Y. Vipshovskyi¹[0009-0007-9873-3753], Ph.D., Y. Hrytsiuk²[0000-0001-8183-3466]

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

EMAIL: ¹yurii.vipshovskyi.asp.2025@lpnu.ua, ²yurii.i.hrytsiuk@lpnu.ua

**РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧ ЗА ДОПОМОГОЮ КРУГОВИХ
РОЗПОДІЛЕНИХ ГІСТОГРАМ ТА МАШИННОГО НАВЧАННЯ**

Ю. Віпшовський, Ph.D., Ю. Грішук

Національний Університет «Львівська Політехніка», Львів, Україна

Анотація: Досліджено метод розпізнавання облич на основі кругових розподілених кумулятивних гістограм (CDCH). Метод використовує радіальне сканування для отримання незалежних від розміру статистичних ознак. Отримані ознаки класифікуються за допомогою методу опорних векторів (SVM). Експерименти на базі FEI Face Database підтверджують високу точність (83.8%) та обчислювальну ефективність алгоритму, що робить його придатним для систем Edge IoT.

Ключові слова: розпізнавання облич, машинне навчання, видобування ознак, радіальне сканування, метод опорних векторів, Edge IoT.

Abstract: The paper investigates a face recognition method based on Circular Distributed Cumulative Histograms (CDCH). The method utilizes radial scanning to extract size-independent statistical features. These features are classified using a Support Vector Machine (SVM). Experiments on the FEI Face Database confirm high accuracy (83.8%) and computational efficiency, making the algorithm highly suitable for resource-constrained Edge IoT systems.

Keywords: face recognition, machine learning, feature extraction, radial scanning, support vector machine, Edge IoT.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Recent advancements in facial recognition rely on deep convolutional neural networks (CNNs) [1]. However, deploying them in resource-constrained Edge IoT systems is challenging due to high memory and hardware demands [2, 3]. This research proposes a deterministic, hardware-friendly alternative combining Circular Distributed Cumulative Histograms (CDCH), previously effective in other computer vision domains like defect detection [4], with a Support Vector Machine (SVM).

For size independence, CDCH maps intensity distributions along 360 radial vectors originating from an intensity-based facial centroid. Classification uses difference matrices from subtracted paired CDCH representations. The spatial percentage of threshold-exceeding mismatches forms a low-dimensional feature vector (Fig. 1), enabling real-time SVM inference on CPUs with $O(W \times H)$ time complexity.

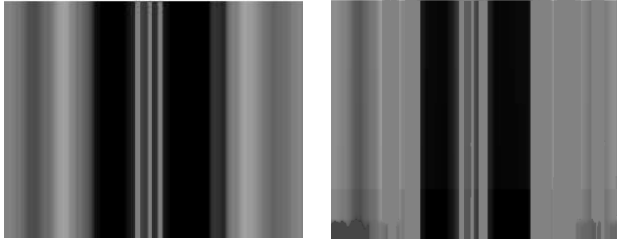


Figure 1. Differences of CDCH images: Same person smiling (tol=2) and Different person (tol=3)

The proposed algorithm was evaluated using a subset of the FEI Face Database (700 images, 50 individuals). A total of 12,250 unique image pairs were programmatically generated and assigned to Match or Mismatch classes. An RBF-kernel SVM (70/30 split) achieved an 83.8% Accuracy on the testing subset. Additional performance metrics included an 85.1% Precision, 81.4% Recall, and an 83.2% F1-Score.

The CDCH-SVM framework successfully translates complex facial geometry into stable radial projections. Operating without the heavy computational overhead of deep learning networks, the proposed method is highly suitable for real-time edge-computing biometric applications on standard hardware.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

References

- 1 Wang, M., & Deng, W. (2020). Deep face recognition: A survey. *Neurocomputing*, 429, 215–244. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2020.10.081>
- 2 Kortli, Y., Jridi, M., Falou, A. A., & Atri, M. (2020). Face Recognition Systems: a survey. *Sensors*, 20(2), 342. <https://doi.org/10.3390/s20020342>
- 3 International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology. (2020). *International Journal of Advanced Research in Science Communication and Technology*. <https://doi.org/10.48175/568>
- 4 Melnyk, R., & Muzyka, B. (2025). Circular distributed cumulative histograms and machine learning for the detection of defects in PCB images. *WSEAS TRANSACTIONS ON SIGNAL PROCESSING*, 21, 147–158. <https://doi.org/10.37394/232014.2025.21.17>

УДК 629.5.05:004.93

**ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF NETWORK-BASED
COMPUTER VISION SYSTEM FOR UNMANNED AND
CONVENTIONAL VESSELS**

**Dr. Sci., V. Mykhailenko¹[0000-0002-1401-0053], Dr. Sci., S. Artemenko²[0000-0002-1398-1472],
Ph.D., M. Iepik³[0000-0001-9021-3680], O. Zolotukhin⁴[0009-0008-3215-9258]**

¹ National University "Odesa Maritime Academy", Ukraine,

² Odessa National University of Technology, Ukraine,

³ Odesa I.I. Mechnikov National University, Ukraine,

⁴ Odessa National Maritime University, Ukraine

EMAIL: vladmihailen@gmail.com, sergey.artemenko@cloud.ontu.edu.ua,
marinayepik@gmail.com, supersmile2009@gmail.com

**АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ НЕЙПРОМЕРЕЖЕВИХ СИСТЕМ
КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ ДЛЯ БЕЗПІЛОТНИХ ТА
ТРАДИЦІЙНИХ СУДЕН**

**Dr. Sci., В. Михайленко¹, Dr. Sci., С. Артеменко², Ph.D., М. Єпик³,
О. Золотухин⁴**

¹ Національний університет «Одеська морська академія», Україна,

² Одеський національний технологічний університет, Україна,

³ Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, Україна,

⁴ Одеський національний морський університет, Україна,

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

***Анотація.** У статті досліджуються методи комп'ютерного зору на основі нейронних мереж для виявлення та розпізнавання морських об'єктів на автономних і звичайних суднах. У дослідженні аналізуються архітектури YOLO та ResNet для обробки морських зображень і відеопотоків. Експериментальні результати показують, що YOLO забезпечує високу швидкість виявлення, тоді як ResNet підвищує точність класифікації. Гібридний підхід, що поєднує обидві моделі, покращує надійність розпізнавання та сприяє ефективній роботі систем керування суднами.*

***Ключові слова:** нейронні мережі, комп'ютерний зір, YOLO, ResNet, автономні судна, розпізнавання морських об'єктів*

Abstract. This paper investigates neural network-based computer vision methods for maritime object detection and recognition in autonomous and conventional vessels. The study analyzes YOLO and ResNet architectures for processing marine images and video streams. Experimental results show that YOLO provides high-speed detection, while ResNet improves classification accuracy. A hybrid approach combining both models enhances recognition reliability and supports effective vessel control systems.

Keywords: neural networks, computer vision, YOLO, ResNet, autonomous vessels, marine object recognition

Сучасний розвиток морського транспорту супроводжується впровадженням технологій штучного інтелекту та комп'ютерного зору, що є основою функціонування автономних суден. Використання таких систем дозволяє підвищити рівень безпеки судноплавства, зменшити вплив людського фактору та оптимізувати процеси прийняття рішень [1]. Метою дослідження є аналіз ефективності застосування нейромережевих архітектур YOLO (You Only Look Once) та ResNet (Residual Network) для виявлення і розпізнавання об'єктів морського середовища у зображеннях і відеопотоках, а також оцінка можливості їх використання у системах управління автономними та традиційними суднами [2, 3].

У роботі використано сучасні бібліотеки OpenCV та ImageAI для попередньої обробки зображень [4, 5], а також нейронні мережі YOLO та ResNet-50 [2, 3]. Алгоритмічна реалізація містить етапи отримання відеоданих, їх попередньої обробки, формування навчальної вибірки, навчання моделей і подальшого розпізнавання об'єктів. Система може

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

інтегруватися з додатковими джерелами даних, такими як радарні системи, GPS та AIS, що підвищує її надійність.

У ході експериментального аналізу встановлено, що модель YOLO характеризується високою швидкістю обробки та придатна для використання в режимі реального часу [2]. У свою чергу, ResNet-50 забезпечує вищу точність класифікації, проте поступається за швидкістю [3]. Отримані результати свідчать про наявність компромісу між швидкістю та точністю роботи моделей. Використання лише одного підходу не забезпечує оптимальних характеристик, тому доцільним є комбінування різних моделей для підвищення загальної ефективності системи. Застосування методів глибокого навчання у системах комп'ютерного зору є перспективним напрямом розвитку автономного судноплавства. Модель YOLO є ефективною для швидкого виявлення об'єктів, тоді як ResNet-50 — для їх точної класифікації. Найбільш доцільним є їх комбіноване використання, що дозволяє підвищити надійність та безпеку навігаційних систем [2,3,4].

Література

1. International Maritime Organization. Autonomous shipping and safety regulations. London: International Maritime Organization, 2021.
2. Redmon J., Divvala S., Girshick R., Farhadi A. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2016. P. 779–788. <https://arxiv.org/abs/1506.02640> (дата звернення: 25.07.2026).
3. He K., Zhang X., Ren S., Sun J. Deep Residual Learning for Image Recognition // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2016. P. 770–778. <https://arxiv.org/abs/1512.03385> (дата звернення: 02.08.2026).
4. Geng Z., Yan H., Zhang J., Zhu D. Deep-Learning for Radar: A Survey // IEEE Access. 2021. Vol. 9. P. 141800–141818. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3119561> (дата звернення: 03.08.2026).
5. Prasad D. K., Rajan D., Rachmawati L., Rajabally E., Quek C. Video Processing from Electro-Optical Sensors for Object Detection and Tracking in Maritime Environment // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2017. Vol. 18, No. 8. P. 1993–2016. <https://doi.org/10.1109/TITS.2016.2635626> (дата звернення: 04.08.2026).

UDC 004.032.26:004.932.2

**SOFTWARE FOR SINGLE-STAGE DETECTION AND DEPTH
ESTIMATION OF SUBSURFACE DEFECTS USING MODIFIED
YOLOV12**

R. Havdusky^[0009-0004-6737-6018], **Dr.Sci., L. Zhuravchak**^[0000-0002-1444-5882]
Lviv Polytechnic National University, Ukraine
EMAIL: roman.i.havdulskyi@lpnu.ua

**ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ОДНОЕТАПНОГО
ВИЯВЛЕННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ ГЛИБИНИ
ПРИПОВЕРХНЕВИХ ДЕФЕКТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ
МОДИФІКОВАНОЇ YOLOV12**

Р. Гавдульський, Dr.Sci., Л. Журавчак
Національний університет "Львівська політехніка", Україна

Анотація. Запропоновано модифікацію YOLOv12n для одноетапного виявлення, класифікації та оцінювання глибини підповерхневих дефектів за стаціонарними термограмами. Детекційна голова модифікована додаванням окремої гілки регресії нормалізованої координати глибини дефекту. Навчання виконано на синтетичному наборі термограм, сформованому завдяки використанню непрямого методу приграничних елементів (НМПГЕ). Модель досягла mAP@50 на рівні 95.99%, MAE – 0.07013 та RMSE – 0.09613, зберігши точність детекції та класифікації.

Ключові слова: YOLOv12, комп'ютерний зір, неруйнівний контроль, оцінювання глибини.

Abstract. A modification of YOLOv12n is proposed for single-stage detection, classification, and depth estimation of subsurface defects from steady-state thermograms. The detection head is modified by adding a separate regression branch for the normalized depth coordinate of the defect. Training was performed on a synthetic thermograms dataset generated using the indirect near-boundary element method (INBEM). The model achieves mAP@50 of 95.99%, MAE of 0.07013, and RMSE of 0.09613, while maintaining detection and classification accuracy.

Keywords: YOLOv12, computer vision, non-destructive testing, depth estimation.

Infrared thermography enables the detection of internal inhomogeneities without damaging the inspected object. Subsurface voids and inclusions

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

disrupt heat flow and produce temperature anomalies at the surface. Machine-learning methods have been successfully applied to the automated detection and classification of such anomalies [1]. However, quantitative defect-depth estimation is typically treated as a separate task and is studied mainly in the context of pulsed thermography [2]. The aim of this study is to modify YOLOv12n to simultaneously localize, classify, and estimate the depth coordinate of multiple defects from a single steady-state thermographic image.

To generate the data, direct steady-state heat-conduction problems were solved for a three-dimensional object measuring 8x4x2, containing voids and inclusions with different thermal conductivities. The temperature fields were obtained using the indirect near-boundary element method [3]. The temperature distribution on the top surface was calculated on a 120x60 grid, interpolated to 800x400 pixels, baseline-corrected, normalized, smoothed, and saved as an RGB image. Additive Gaussian noise was applied to improve model robustness.

The training dataset contained approximately 52,000 thermograms with two to five defects. The test dataset contained 8,000 thermograms with four defects each. The YOLO annotation format was extended as follows: class_id, cx, cy, width, height, z, where z denotes the normalized depth coordinate of the defect center.

The baseline YOLOv12n architecture [4] was extended with a depth-regression branch. The branch consists of two convolutional blocks, followed by a 1x1 convolution. It produces a single depth value for each prediction location. As of features, it uses P3, P4, and P5. The target-assignment mechanism remained unchanged. As for training, the depth loss was calculated only for the final predictions assigned to ground-truth objects. The Smooth L1 loss function was used to train the regression branch. As a model output, after confidence filtering and non-maximum suppression, each prediction included bounding-box coordinates, a confidence score, a class identifier, and an estimated depth. Thus, unlike the previously proposed two-stage approach [4], the method does not require additional cropping of the defect region or a separate regression model.

The model was trained for 35 epochs. The best results were obtained using the model initialized with the standard YOLOv12n weights. Adding the

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

regression branch had almost no adverse effect on detection performance: mAP@50 reached 95.99%, compared with 95.60% for the baseline model. The mAP@50:95 value was 81.19%, compared with 82.10% for the standard YOLOv12n [4]. For objects matched at an IoU threshold of at least 0.5, the mean absolute depth-estimation error was 0.07013, and the root mean square error was 0.09613. The class-wise analysis showed a slightly lower mean absolute error for inclusions, namely 0.06715, compared with 0.07563 for voids. The lowest error was obtained for defects located closer to the inspected surface because they produced more distinctive thermal contrast. At the same time, overlapping thermal halos generated by multiple defects made their depth estimation more difficult.

The results confirm that the proposed YOLOv12 modification is capable of depth estimation while preserving a single-stage architecture and keeping detection metrics on the same level. Future research should include inference-time and computational-cost evaluation. Also, comparison with two-stage and state-of-the-art multi-task models, and validation using experimental and publicly available thermographic datasets should be considered.

References

1. Peng, S., Addepalli, S., & Farsi, M. (2025). Machine Learning in Thermography Non-Destructive Testing: A Systematic Review. *Applied Sciences*, 15(17), 9624. <https://doi.org/10.3390/app15179624>
2. Wei, Z., Osman, A., Valeske, B., & Maldague, X. (2023). A Dataset of Pulsed Thermography for Automated Defect Depth Estimation. *Applied Sciences*, 13(24), 13093. <https://doi.org/10.3390/app132413093>
3. Tian, Y., Ye, Q., & Doermann, D. (2025). YOLOv12: Attention-Centric Real-Time Object Detectors. *arXiv* (Cornell University). <https://doi.org/10.48550/arxiv.2502.12524>
4. Havdulskyi, R., & Zhuravchak, L. (2026). Inclusion and holes detection in 3D objects using numerical modeling and neural networks. *Technology Audit and Production Reserves*, 1(2(87)), 113–122. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2026.352493>

УДК 004.89:631

**CONCEPT OF CAMERA AND SONAR DATA ALIGNMENT FOR
UNDERWATER OBJECT RECOGNITION**

Ph.D., N. Shybaieva¹[0000-0002-7869-9953], **D. Shybaiev**²[0000-0002-3260-5843]

¹Odesa Polytechnic National University, Ukraine,

²"Server" College, Ukraine

EMAIL: ¹n.o.shybaieva@op.edu.ua, ²shybaiev@server.odessa.ua

**АРХІТЕКТУРА ІНТЕГРОВАНОЇ ШІ-СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ
ЗМІШАНИХ ФЕРМЕРСЬКИХ ГОСПОДАРСТВ**

Ph.D., Н. Шибасєва¹, **Д. Шибасєв**²

¹Національний університет «Одеська політехніка», Україна,

²Коледж «Сервер»

Анотація. Запропоновано архітектуру інтегрованої інформаційної системи автоматизації змішаного фермерського господарства з використанням IoT та технологій штучного інтелекту. Розглянуто застосування автоматизованого збору даних, нейронних мереж і цифрового двійника для моніторингу, прогнозування та підтримки управлінських рішень.

Ключові слова: автоматизація, штучний інтелект, Інтернет речей, нейронні мережі, цифровий двійник.

Abstract. An architecture of an integrated information system for the automation of mixed farming using IoT and artificial intelligence technologies is proposed. The application of automated data collection, neural networks, and a digital twin for monitoring, forecasting, and decision support is considered.

Keywords: automation, artificial intelligence, Internet of Things, neural networks, digital twin.

Стрімкий розвиток інформаційних технологій, автоматизації та штучного інтелекту змінює підходи до управління агропромисловим виробництвом. Водночас середні фермерські господарства впроваджують комплексну автоматизацію повільніше через високу вартість рішень, недостатню інтеграцію програмних продуктів і відсутність універсальних платформ, адаптованих до потреб малого та середнього аграрного бізнесу. Особливо актуальною є автоматизація змішаних фермерських господарств, які поєднують рослинництво,

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

тваринництво або птахівництво, переробку, пакування, зберігання, логістику та реалізацію продукції. Значна кількість взаємопов'язаних процесів ускладнює ефективне управління без використання сучасних цифрових технологій [1].

Метою роботи є розроблення практичної моделі інтегрованої інформаційної системи автоматизації змішаного фермерського господарства із застосуванням програмних платформ, апаратних засобів, Інтернету речей та штучного інтелекту для моніторингу виробничих процесів і підтримки управлінських рішень.

Запропонована система має багаторівневу архітектуру. Перший рівень забезпечує автоматизований збір даних за допомогою датчиків температури, вологості, освітленості, рівня води, вагових систем, RFID-міток, QR-ідентифікаторів, відеоспостереження та контролерів обладнання. Другий рівень формує інформаційно-комунікаційну інфраструктуру з використанням Wi-Fi, Ethernet, LoRaWAN, NB-IoT та мобільних мереж, а протоколи MQTT і AMQP забезпечують передавання телеметричних даних у режимі реального часу [2]. Третій рівень представлений серверною платформою для зберігання, оброблення та інтеграції даних із можливістю використання мікросервісної архітектури, контейнеризації, реляційних баз даних і сховищ часових рядів. Четвертий рівень включає веб- та мобільні застосунки для адміністрування господарства, моніторингу показників, формування звітності та оперативного внесення виробничих даних [3, 4]. Важливим компонентом системи є технології штучного інтелекту. Комп'ютерний зір може використовуватися для контролю стану рослин, виявлення захворювань і бур'янів, оцінювання стиглості продукції та моніторингу стану тварин і птиці. Нейронні мережі можуть прогнозувати врожайність, споживання кормів, обсяги виробництва, запаси та попит з урахуванням історичних даних, сезонності й погодних умов. Аналіз телеметричних параметрів обладнання також дає змогу реалізувати прогнозне технічне обслуговування та завчасно виявляти аномалії.

Практична модель впровадження передбачає послідовну цифровізацію господарства: створення єдиної електронної бази виробничих ресурсів, автоматизований збір даних, інтеграцію ERP із

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

бухгалтерським обліком, CRM, логістикою, електронним документообігом та електронною комерцією, а також підключення модулів аналітики й штучного інтелекту. Результатом інтеграції є формування цифрового двійника фермерського господарства, який відображає поточний стан виробничих процесів, забезпечує контроль ключових показників, формування попереджень про критичні події та моделювання сценаріїв розвитку підприємства. Запропонована модель може бути адаптована до господарств різної спеціалізації та підприємств повного виробничого циклу.

Наукова новизна роботи полягає у формуванні інтегрованої моделі автоматизації змішаного фермерського господарства, яка об'єднує виробничі процеси, IoT-пристрої, програмні платформи, комп'ютерний зір, прогнозу аналітику та нейронні мережі в єдиному інформаційному середовищі. Особливістю підходу є централізоване накопичення різномірних даних у режимі реального часу та їх використання для створення цифрового двійника і підтримки управлінських рішень. Практична цінність полягає у можливості створення масштабованої інформаційної платформи для середніх фермерських господарств незалежно від спеціалізації. Її використання дає змогу скоротити витрати ресурсів, знизити вплив людського фактора, підвищити точність планування, забезпечити простежуваність продукції та покращити економічну ефективність підприємства.

Запропонована модель забезпечує інтеграцію програмного забезпечення, IoT-пристроїв, автоматизованого збору даних і технологій штучного інтелекту в єдину інформаційну систему. Її впровадження сприяє автоматизації виробничих процесів, оптимізації ресурсів, зниженню ризиків та підвищенню обґрунтованості управлінських рішень. Масштабованість архітектури дозволяє застосовувати її як у середніх фермерських господарствах, так і на агропромислових підприємствах повного циклу.

Література

1. Adli, H. K., Remli, M. A., Wan Salihin Wong, K. N. S., Ismail, N. A., González-Briones, A., Corchado, J. M., & Mohamad, M. S. Recent advancements and

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

- challenges of AIoT application in smart agriculture: A review. *Sensors*, 2023, 23(7), 3752.
2. Kumar, V., Sharma, K. V., Kedam, N., Patel, A., Kate, T. R., & Rathnayake, U. A comprehensive review on smart and sustainable agriculture using IoT technologies. *Smart Agricultural Technology*, 2024, 8, 100487.
 3. El Alaoui, M., El Amraoui, K., Masmoudi, L., Ettouhami, A., & Rouchdi, M. Unleashing the potential of IoT, artificial intelligence, and UAVs in contemporary agriculture: A comprehensive review. *Journal of Terramechanics*, 2024, 115, 100986.
 4. Shoba, H., Nagaraja, G., Krishnamma, P. N., & Sreedevi, M. S. Smart farming: Integration of IoT and AI in agricultural engineering. *International Journal of Agricultural Extension and Social Development*, 2024, 7(9), 692–700.

UDC 004.056: 004.9+629.4

**PLANT DISEASE IDENTIFICATION FROM IMAGES USING
MACHINE LEARNING ALGORITHMS**

Dr.Sci., S. Antoshchuk^{1[0000-0002-9346-145x]}, **Ph.D., T. Kunup**^{2[0000-0003-0246-0951]},
O. Kravchenko^{3[0009-0006-6982-0965]}

Odesa Polytechnic National University, Ukraine

EMAIL: ¹asg@op.edu.ua, ²kunup.t.v@op.edu.ua, ³10253024@stud.op.edu.ua

**ІДЕНТИФІКАЦІЯ ХВОРОБ РОСЛИН ЗА ЗОБРАЖЕННЯМИ ЗА
ДОПОМОГОЮ АЛГОРИТМІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ**

Dr.Sci., С. Антошук, Ph.D., Т. Кунуп, О. Кравченко

Одеський політехнічний національний університет, Україна

Анотація. У цій статті представлено розробку автоматизованого процесу ідентифікації хвороб рослин за їх зовнішнім виглядом. Головною метою цієї роботи є розробка інтелектуального програмного забезпечення, здатного швидко та точно аналізувати стан здоров'я рослин на основі їх фотографій. Були визначені та впроваджені всі аспекти розробки системи ідентифікації хвороб рослин за зображеннями. Були розглянуті відповідні архітектури нейронних мереж та набори даних про хвороби рослин для керівництва вибором моделі та експериментальним планом. Особлива увага приділяється згортовим нейронним мережам, їх компонентам, принципам обробки зображень та вилучення ознак, а також різним архітектурам згортових нейронних мереж. Чотири архітектури CNN були навчені на PlantVillage та

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

PlantWild та оцінені на PlantDoc. ConvNeXt-Tiny досяг найкращого результату PlantDoc та був інтегрований у мобільний додаток.

Ключові слова: *Класифікація зображень, ідентифікація хвороб рослин, згорткові нейронні мережі, глибоке навчання, PlantVillage, PlantWild, PlantDoc, штучний інтелект.*

Abstract: *This article presents the development of an automated process for identifying plant diseases by their appearance. Scientists and agronomists are continuously investigating effective strategies to control the spread of plant diseases and minimize their adverse effects. The main objective of this work is to develop intelligent software capable of quickly and accurately analyzing plant health based on its photograph. All aspects of developing a system for identifying plant diseases from images were identified and implemented. Relevant neural-network architectures and plant-disease datasets were reviewed to guide model selection and the experimental design. Particular attention is given to convolutional neural networks, their components, principles of image processing and feature extraction, and various convolutional neural network architectures. Four CNN architectures were trained on PlantVillage and PlantWild and evaluated on PlantDoc. ConvNeXt-Tiny achieved the best PlantDoc result and was integrated into the mobile application. The proposed plant disease identification system was implemented as a mobile application.*

Keywords: *Image classification, plant disease identification, convolutional neural networks, deep learning, PlantVillage, PlantWild, PlantDoc, artificial intelligence.*

Agriculture is one of the most important sectors of human activity. Approximately one billion people are employed in the agricultural sector, accounting for about 28% of the global workforce [1]. The primary goal of farmers has always been to achieve the highest possible crop yield. However, accomplishing this objective is a challenging task, as plant health is affected by numerous adverse factors, such as:

- climate problems, such as drought and excessive heat, floods, frosts, and hail;

- soil fertility problems, including excessive use of chemical fertilizers and pesticides, erosion, and salinization;

- dependence on innovative technologies, the use of which requires additional knowledge and skills and carries risks to their reliability;

- plant diseases and damage caused by bacteria, fungi, viruses, pests, and parasitic plants.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

The actual training of the models occurs in the pretrain and finetune functions. After this, the models are tested for accuracy on the PlantDoc dataset using the `evaluate_on_plantdoc` function. Before this step, it is important to consider two nuances: first, the name of the same class looks slightly different in different datasets. For example, in PlantVillage it is `Apple__Apple_scab`, in PlantWild it is `Apple_scab`, and in PlantDoc it is `Apple Scab`. To overcome this problem, the `_norm` function was written, which reduces all three variants to the form "apple scab." Second, each dataset has a different number of classes. After pretraining on PlantVillage and completing training on PlantWild, the models can classify 89 classes, while PlantDoc contains 27 plant-disease categories, including 17 disease and 10 healthy categories. The `build_plantdoc_mapping()` function builds a dictionary that establishes a mapping between the PlantWild and PlantDoc classes. Classes from the PlantWild dataset that are not present in PlantDoc are included in the "unmatched" list and are not included in the accuracy test. The models were exported to ONNX and LiteRT (.tflite) formats.

After analyzing the training results, we can conclude that all models demonstrated the ability to quickly learn to accurately distinguish plant diseases on the PlantVillage dataset, all photographs of which were taken under identical conditions with a simple background.

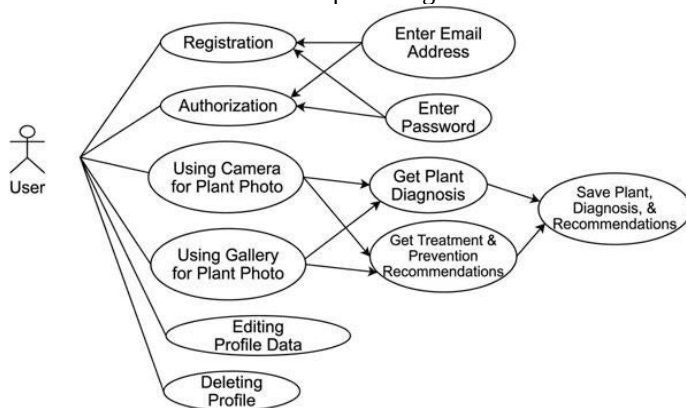


Figure 1. Use-case diagram

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Performance decreased substantially on PlantWild, reflecting the domain shift and the greater visual complexity of in-the-wild images. The use case diagram for the mobile application for identifying plant diseases is shown in Fig. 1. It sequentially displays all the actions the program provides the user.

The application can be used in guest mode; registration is required only to save results and access recognition history. The mobile application for identifying agricultural diseases identifies the plant's condition after a visual inspection. To successfully perform this task, the system requires only one photo of the affected leaves or fruit, which the user can provide in two ways: using the mobile phone camera or its gallery.

After receiving an image, the system analyzes it and provides a status report, including the plant species, diagnosis, and brief treatment recommendations. The user can save the results in a database. The program also includes the ability to edit profile data, including changing the email address, password, and username. The user can also delete their profile along with all data if they no longer wish to use the program. The results screen displays a list of the five most likely diagnoses and treatment methods for each. This screen allows the user to save diagnostic results in a database. Saving the results enables the recognition history feature.

Analyzing the completed work, we can conclude that the application successfully fulfills its intended purpose, and its graphical interface is user-friendly and intuitive. To further analyze the mobile application's functionality, manual testing was conducted. This approach involved the tester manually executing interaction scenarios with the application, without the use of automation tools.

The model that demonstrated the highest level of accuracy (ConvNeXt-Tiny) was integrated into the mobile app. The mobile application was developed in Kotlin using Android Studio, Jetpack Compose for the user interface, LiteRT (formerly TensorFlow Lite) for on-device inference, and Room for local data storage. These technologies helped develop an app characterized by low computational costs, ease of use, and high performance. In the future, the system can be developed by searching for and applying measures to improve the accuracy of models that can be used in the system, and training on datasets with a large number of classes so that the application helps users work with a large number of crops and diseases.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

References

1. PlantVillage Plant Leaf Image Dataset. URL: <https://hyper.ai/en/datasets/18010>
(дата звернення: 18.05.2026)

УДК 681.51:004.8

**SYNTHESIS OF AN ADAPTIVE AUTOMATED ENERGY
EFFICIENCY CONTROL SYSTEM BASED ON DEEP LEARNING**

M. Podolinskyi¹[0009-0001-9526-891X], Dr.Sci., V. Vychuzhanin²[0000-0002-6302-1832]

Odesa Polytechnic National University, Ukraine

EMAIL: ¹6200772@as.op.edu.ua, ²v.v.vychuzhanin@op.edu.ua

**СИНТЕЗ АДАПТИВНОЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ
КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЮ НА ОСНОВІ
ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ**

М. Подолінський, Dr.Sci., В. Вичужанін

Національний університет «Одеська політехніка», Україна

Анотація. У роботі вирішено завдання синтезу адаптивної автоматизованої системи керування енергоефективністю складних технічних об'єктів. Запропоновано двоконтурну структуру АСУ з використанням моделей глибокого навчання для предиктивного формування керуючих впливів. Доведено, що застосування рекурентних нейромережових архітектур дозволяє адаптувати систему до нестационарних режимів функціонування та мінімізувати питомі витрати енергоресурсів без потреби у постійному ручному переналаштуванні параметрів регулятора.

Ключові слова: адаптивне керування, глибоке навчання, енергоефективність, синтез АСУ, предиктивне регулювання.

Abstract. The paper solves the problem of synthesizing an adaptive automated energy efficiency control system for complex technical objects. A two-circuit ACS structure using Deep Learning models for predictive control generation is proposed. It is proved that the application of recurrent neural network architectures allows adapting the system to non-stationary operating modes and minimizing specific energy costs without the need for constant manual re-tuning of controller parameters.

Keywords: adaptive control, deep learning, energy efficiency, ACS synthesis, predictive regulation.

Вступ та постановка проблеми. Підвищення рівнів динамічності сучасних виробничих процесів вимагає впровадження нових підходів до автоматизації, здатних забезпечити високу енергоефективність в умовах значної невизначеності. Класичні АСУ на основі ПД-регуляторів не забезпечують оптимального керування об'єктами з високою інерційністю та змінними параметрами. Синтез адаптивних систем керування з використанням моделей глибокого навчання (Deep Learning) [1] дозволяє реалізувати предиктивне регулювання за рахунок самонавчання на часових рядах телеметрії [2].

Основний зміст дослідження. Запропонована структура адаптивної АСУ базується на двоконтурній принциповій схемі. Внутрішній контур забезпечує швидку стабілізацію технологічних параметрів, а зовнішній (адаптивний) - формує корегуючі впливи на основі нейромережевого прогнозу енергоспоживання.

Для синтезу предиктивної моделі застосовано рекурентну нейронну мережу з довгою короткостроковою пам'яттю (LSTM) [3]. На вхід системи подається вектор станів $S_t = \{P_t, T_t, X_t\}$, де P_t - поточна активна потужність, T_t - параметри технологічного середовища, X_t - вектор зовнішніх збурень.

Цільова функція оптимізації синтезованої системи має вигляд:

$$J = \sum [\lambda_1 \cdot (y_{(t+k)} - r_{(t+k)})^2 + \lambda_2 \cdot (\Delta u_{(t+k)})^2]$$

де $y_{(t+k)}$ та $r_{(t+k)}$ - спрогнозоване та задане значення показника енергоефективності; $\Delta u_{(t+k)}$ - величина зміни керуючого впливу; λ_1, λ_2 - вагові коефіцієнти.

Впровадження даної структури дозволяє мінімізувати амплітуду перехідних процесів та усунути ефекти перерегулювання в динамічних циклах навантаження.

Висновки. Розроблений метод синтезу адаптивної АСУ енергоефективністю на основі моделей глибокого навчання забезпечує підвищення точності регулювання в умовах параметричної невизначеності. Результати експериментального моделювання підтверджують зменшення питомого енергоспоживання об'єкта на 11–14% порівняно з базовими алгоритмами керування.

**International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"**

References

1. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.
2. Camacho, E. F., & Alba, C. B. (2013). *Model Predictive Control*. Springer Science & Business Media.
3. Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long Short-Term Memory. *Neural Computation*, 9(8), 1735–1780.

UDC004.8:616.441-006.6

**NOISE DETECTION IN HISTOPATHOLOGY IMAGES FOR
THYROID TUMOR DIAGNOSIS**

Dr.Sci., O. Chumachenko^{1[0000-0001-7803-9181]}, R. Tsymbaliuk^{2[0009-0008-3525-8892]}

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic
Institute", Ukraine*

EMAIL: ¹eliranvik@gmail.com, ²tsymbaljuk2001@gmail.com

**ВИЯВЛЕННЯ ШУМІВ НА ГІСТОПАТОЛОГІЧНИХ
ЗОБРАЖЕННЯХ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ПУХЛИН
ЩИТОПОДІБНОЇ ЗАЛОЗИ**

Dr.Sci., О. Чумаченко, Р. Цимбалюк

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», Україна*

Анотація. Метою дослідження є автоматичне виявлення артефактів у гістопатологічних повнослایдових зображеннях та оцінювання надійності прогнозів. Запропоновано ансамбль U-Net, YOLOv8n і DeepLabv3+зі стохастичними проходами та випадковими поворотами для оцінювання невизначеності. Після поділу WSI на фрагменти й нормалізації Масенко моделі досягли F1 0,942–0,980 та Dice 0,955–0,967. Для кожного зображення обирається прогноз із найменшою невизначеністю, а сумнівні ділянки передаються експерту.

Ключові слова: гістопатологічні зображення, артефакти, сегментація, ансамбль моделей, оцінювання невизначеності, штучний інтелект, машинне навчання

Abstract. The study aims to automatically detect artifacts in histopathological whole-slide images and assess prediction reliability. An ensemble of U-Net,

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

YOLOv8n, and DeepLabv3+ using stochastic passes and random rotations is proposed for uncertainty estimation. After WSI tiling and Macenko stain normalization, the models achieved F1 scores of 0.942–0.980 and Dice scores of 0.955–0.967. For each image, the lowest-uncertainty prediction is selected, while uncertain regions are referred for expert review.

Keywords: *histopathological images, artifacts, segmentation, model ensemble, uncertainty estimation, artificial intelligence, machine learning*

Relevance. The definitive diagnosis of a thyroid tumor is based on histopathological examination, while digital whole-slide images (WSI) make it possible to automate part of the diagnostic process. At the same time, blurring, blood, air bubbles, folds, and mechanical tissue damage distort morphological features and cause hidden model errors [1]. Therefore, automatic artifact detection is an essential stage of WSI quality control.

Purpose of the study. To develop an artifact detection method that provides defect localization and evaluates prediction robustness. To this end, an ensemble of three detectors is proposed, with a model selected separately for each image based on minimum uncertainty.

Materials and preprocessing. The open HistoArtifacts dataset [2] was used. To reduce class imbalance, 3575 patches were selected from each class. From patches found to be similar in color by k-means, 3416 synthetic WSIs were generated for training and 855 for validation in a binary classification setting. An additional dataset included approximately 18 WSIs from Kyiv City Hospital No. 18, with 4–5 images per case. The images were divided into 224×224 -pixel patches, and stain variability was reduced using Macenko normalization [3].

Proposed method. The ensemble combines U-Net, YOLOv8n, and DeepLabv3+. U-Net performs accurate segmentation, the lightweight YOLOv8n rapidly detects local defects, and DeepLabv3+ captures artifacts at different scales. For each detector, 1000 stochastic passes were performed with random rotations of the WSI. Mean confidence, variance, standard deviation, and entropy were calculated. The output of the detector with the lowest uncertainty was selected as the final result, while regions with high uncertainty were recommended for expert review.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Table 1. Comparative metrics of artifact detectors

Model	Prec.	Rec.	F1	Spec.	AUROC	IoU	Dice
U-Net	0,903	0,986	0,942	0,993	1,000	0,959	0,967
DeepLabv3+	0,996	0,956	0,976	1,000	0,985	0,954	0,955
YOLOv8n	0,969	0,991	0,980	0,998	1,000	0,937	0,959

Note. Prec. - precision; Rec. - recall; Spec. - specificity.

Results. All models showed high performance metrics (Table 1): YOLOv8n had the highest F1 score (0,980), U-Net the highest Dice score (0,967), and DeepLabv3+ the highest precision (0,996).

During 1000 passes on the first test WSI, DeepLabv3+ predictions showed substantial variability, whereas YOLOv8n and U-Net were stable; U-Net was selected based on minimum uncertainty. In another image, the standard deviation of DeepLabv3+ confidence was approximately 0,2, whereas YOLOv8n and U-Net showed nearly identical confidence; the U-Net result was selected.

Conclusions. An approach for assessing confidence in noise detection in histological images is proposed. The required stages of histological image preprocessing are described. The selection of models for detecting noise in histological images is presented and justified.

References

1. Kanwal, N., Pérez-Bueno, F., Schmidt, A., Engan, K., & Molina, R. (2022). The devil is in the details: Whole slide image acquisition and processing for artifacts detection, color variation, and data augmentation: A review. *IEEE Access*, 10, 58821–58844. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3176091>
2. Kahaki, S., Webber, A. R., Zamzmi, G., Subbaswamy, A., Deshpande, R., & Badano, A. (2025). *HistoART: Histopathology artifact detection and reporting tool* [Preprint]. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2507.00044>
3. Macenko, M., Niethammer, M., Marron, J. S., Borland, D., Woosley, J. T., Guan, X., Schmitt, C., & Thomas, N. E. (2009). A method for normalizing histology slides for quantitative analysis. In *2009 IEEE International Symposium on Biomedical Imaging: From Nano to Macro* (pp. 1107–1110). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ISBI.2009.5193250>

UDC 004.8

ENFORCING MODULAR ARCHITECTURE IN AI-DRIVEN APP DEVELOPMENT

Ph.D., O. Potiienko^{1[0000-0002-0952-2281]}, **Ph.D., S. Kosenko**^{2[0000-0002-7082-5644]}

Odesa Polytechnic National University, Ukraine
EMAIL: ¹frumle@ukr.net, ²skosenko218@gmail.com

СУВОРА МОДУЛЬНА АРХІТЕКТУРА ДЛЯ ІІІ-РОЗРОБКИ ЗАСТОСУНКІВ

Ph.D., О. Потієнко, Ph.D., С. Косенко

Національний університет "Одеська політехніка"

***Анотація.** В роботі досліджується підхід, що полягає у накладанні суворих архітектурних вимог на систему генерації коду на основі штучного інтелекту. Ми розглядаємо кросплатформену модульну архітектуру, на основі фреймворку RIBs, як структурний фундамент для автономних агентів. Центральна ідея полягає в тому, що застосунок представляється у вигляді дерева взаємопов'язаних вузлів. Кожен вузол описується компонентом (модулем), який має чітку внутрішню структуру, явно описані залежності та публічний інтерфейс. Це суттєво мінімізує й обмежує область генерації ІІІ, значно знижуючи витрати на API та деградацію контекстного вікна, тоді як агенти можуть незалежно розробляти, проводити рефакторинг або тестувати модулі в повній ізоляції. Ми передбачаємо, що обмеження генеративного ІІІ детермінованими архітектурними рамками перетворює недетермінований результат на надійний конвеєр розробки програмного забезпечення.*

***Ключові слова:** великі мовні моделі, архітектура програмного забезпечення, штучний інтелект.*

Abstract. In this work, we explore an approach of enforcing a strict architectural framework on AI code generation system. We consider a cross-platform modular architecture inspired by RIBs framework as a structural basis for autonomous agents. The core idea is that the application is represented as a tree of interacting nodes. Each node is described by the component (module), which has strict internal structure, explicit dependencies and public interface. This significantly minimizes and restricts the AI's generation scope, massively reducing API costs, and context-window degradation, while agents can independently develop, refactor, or test a modules in complete isolation. We predict that constraining generative AI with deterministic

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

architectural rails transforms non-deterministic output into a reliable software development pipeline.

Keywords: *large language models, software architecture, artificial intelligence.*

Modern Large Language Models (LLMs) demonstrate great capabilities of generating programming code. Consequently, numerous systems and agents have been developed that leverage LLMs to generate complete software applications based on a user's prompt. However, as the codebases grow, the models tend to lose ever expanding context. Without strict architectural enforcement, AI systems naturally tend to quick fixes like «God Objects», Singletons, shared mutable states, or mixes user interface logic with business logic etc [1, 2]. Without explicit guidelines it will rarely use the same pattern for error handling, routing, or state updates for two generated modules. In large applications, this blurs the boundaries even more, bloating the scope for future iterations, thus creating unpredictable side effects, where a change in one feature breaks another. Consequently, AI may alter the public or internal behavior of interdependent components, causing cascade failures across the app.

In this work we consider how a modular architectural framework inspired by RIBs architecture [3] improves capabilities of AI systems for large-scale applications development. According to this architecture, the state of the application is modeled as a tree of nodes. Each node is a separate component, it has internal structure: controller (interactor) –represents the business logic of the application, view – represents a part of the user interface, router – responsible for the navigation and lifecycle of the children nodes of the component. Finally, each component (node) explicitly declares its dependencies and public interface. Enforcing this architectural rails, significantly restricts the AI's generation scope strictly to that explicitly defined contract, which massively reduce prompt length, API cost, and context-window degradation, while agents can independently develop, refactor, or test a module in complete isolation. Moreover, the strict internal structure of the components make it possible to assign specialized and focused agents to develop the interactor (pure state and logic), view (layout and rendering) and router (children tree management) separately. The described frameworks explicitly specify object lifecycles, because a module's

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

scope exists only as long as its node is attached to the tree. This provides automated memory management rules, so that AI doesn't have to guess when to allocate or release memory manually.

Following this architectural approach ensures that each feature has identical structural blueprint, so the code layout becomes highly predictable across the whole app. Since every module shares the same foundational shape, the AI agents can be provided with standard canonical examples and use these deterministic boilerplate templates to reliably stamp out new features without architectural deviation. Moreover, the described architectural framework comes with a lot of tools that allows quick and token-free non-AI code generation, handle structural boilerplate and static logic of components. This means zero token cost for generating standard structural boilerplate, eliminate architectural variation and errors.

References

1. Robert C. Martin (2017) "Clean Architecture: A Craftsman's Guide to Software Structure and Design". Prentice Hall. DOI: 10.5555/3175742
2. Frank Buschmann, Regine Meunier, Hans Rohnert, Peter Sommerlad, Michael Stal (1996) "Pattern-Oriented Software Architecture, Volume 1: A System of Patterns". Wiley. ISBN: 978-0-471-95869-7
3. Uber Engineering (2017) "uber/RIBs: Uber's cross-platform mobile architecture framework". GitHub. <https://github.com/uber/ribs>

UDC 004.932.2:004.8

EFFICIENT RGB-THERMAL FUSION FOR UAV-BASED CROWD DETECTION

Ph.D., N. Bilous^{1[0000-0002-8850-9316]}, **S. Kaluhin**^{2[0009-0003-5124-6289]},
V. Ivanichev^{3[0009-0002-3705-0098]}, **Dr.Sci., I. Korobiichuk**^{4[0000-0002-5865-7668]}
^{1,2,3} *Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine,*
⁴ *Warsaw University of Technology, Poland*
E-mail: ¹nataliya.bilous@nure.ua; ²serhii.kaluhin@nure.ua;
³volodymyr.ivanichev.cpe@nure.ua; ⁴igor.korobiichuk@pw.edu.pl

**ЕФЕКТИВНЕ ОБ'ЄДНАННЯ RGB- І ТЕПЛОВІЗІЙНИХ ДАНИХ
ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ СКУПЧЕНЬ ЛЮДЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ
БПЛА**

Ph.D., Н. Білоус¹, С. Калугін¹, В. Іванічев¹, Dr.Sci., І. Коробійчук²

¹ Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна,

² Варшавський технологічний університет, Польща

***Анотація.** Досліджено ефективне об'єднання RGB- і тепловізійних даних для виявлення скупчень людей із БПЛА за умов низької освітленості. На LLVIP порівняно чотири конфігурації YOLOv13n: RGB, теплову, ранню T-G-T та пізню WBF. T-G-T досягла 92,74 % mAP50 при близько 155 кадрах/с і 8,1 GFLOPs. Пізнє об'єднання було дещо точнішим, але майже подвоїло обчислювальне навантаження. T-G-T є практичним варіантом для подальшої перевірки на БПЛА.*

***Ключові слова:** БПЛА, виявлення скупчень людей, RGB-тепловізійне об'єднання, YOLOv13n, раннє об'єднання, нічне спостереження.*

***Abstract.** This study examines efficient RGB–thermal fusion for UAV-based crowd detection under low-light conditions. Four YOLOv13n configurations were compared on LLVIP: RGB, thermal-only, early T-G-T fusion, and late Weighted Box Fusion. T-G-T achieved 92.74% mAP50 at about 155 FPS with 8.1 GFLOPs. Late fusion was slightly more accurate but nearly doubled the computational load. T-G-T is therefore a practical candidate for onboard UAV validation.*

***Keywords:** UAV, crowd detection, RGB–thermal fusion, YOLOv13n, early fusion, low-light monitoring.*

Crowd monitoring from unmanned aerial vehicles supports public-safety operations, disaster response, and search-and-rescue missions [1]. At night, however, people occupy few pixels in aerial frames, occlusions are frequent, and visible-spectrum contrast may be too weak for reliable detection. A thermal camera preserves human heat signatures, but thermal frames provide limited texture and structural detail. We treat crowd detection here as person localisation.

We compared four configurations of the YOLOv13n detector [2]. Two are single-modality baselines: RGB with the usual [R,G,B] input, and thermal with the channel simply repeated as [T,T,T]. The third is our early-fusion input [T,Gray,T], assembled from a synchronised RGB–IR pair. The fourth is

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

late fusion: separate RGB and thermal detectors whose boxes are merged with Weighted Box Fusion. Every model was trained under identical settings on LLVIP, a set of 15,488 aligned visible–infrared pairs (12,025 for training, 3,463 for testing). LLVIP was shot with fixed cameras, so we lean on it as a controlled benchmark rather than a stand-in for real aerial footage.

Table 1. Comparison of YOLOv13n configurations on the LLVIP test set

Method	Input / fusion	mAP50, %	Recall, %	FPS	GFLOPs
RGB	[R, G, B]	85.78	76.03	≈161	8.1
Thermal	[T, T, T]	91.30	83.04	≈160	8.1
Early fusion	[T, Gray, T]	92.74	85.61	≈155	8.1
Late fusion	RGB + T, WBF	≈93.78	85.69	≈80	≈16.2

Moving from RGB to thermal alone already made a clear difference. Replacing one of the duplicated thermal channels with grayscale pushed things further still. T-G-T reached 92.74% mAP50 and 85.61% recall – 6.96 and 9.58 points above RGB – and it did so without adding a single GFLOP, still running at 8.1 GFLOPs and around 155 FPS.

Late fusion did post the top score, roughly 93.78% mAP50, but its lead over T-G-T came to only 1.04 points. Two full detectors instead of one, about 16.2 GFLOPs, twice the model size, and throughput down to some 80 FPS. On the stricter mAP50–95 metric T-G-T actually came out ahead, 63.07% against 61.02%. For an onboard drone, where energy, memory and latency all press at once, early fusion is the better match.

None of this stands in for testing on real aerial video. From a UAV the viewing angle shifts, people are smaller, the ground sample distance drifts with altitude, and RGB and thermal sensors are harder to keep in register [3]. The LLVIP results show that T-G-T retains most of the accuracy benefit of multimodal detection while using the computational resources of a single detector.

This makes it a practical candidate for real-time UAV crowd detection under low-light and resource-constrained conditions.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

References

1. N. V. Bilous et al., "Comparative evaluation of YOLO models for human position recognition with UAVs during a flood," Appl. Syst. Innov., vol. 9, no. 1, art. no. 6, 2026, <https://doi.org/10.3390/asi9010006>.
2. Y. Lei et al., "YOLOv13: Real-time object detection with hypergraph-enhanced adaptive visual perception," arXiv:2506.17733, 2025, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2506.17733>.
3. X. Wu et al., "Deep learning for UAV-based object detection and tracking: A survey," IEEE Geosci. Remote Sens. Mag., vol. 10, no. 3, pp. 91–124, 2022, <https://doi.org/10.1109/MGRS.2021.3115137>.

УДК 004.8

**INTELLIGENT ASSESSMENT FRAMEWORK FOR AI-ENABLED
INDUSTRIAL ECONOMIC RESILIENCE**

Ph.D., L. Vasylyeva^[0000-0002-9277-1560]

Kyiv National Economic University named after V. Hetman, Ukraine

EMAIL:vasileva.dgma@gmail.com

**КОНЦЕПТУАЛЬНА СТРУКТУРА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО
ОЦІНЮВАННЯ ПРОМИСЛОВО-ЕКОНОМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ
НА ОСНОВІ ШІ**

Ph.D., Л. Васильєва

Київський національний економічний університет ім. В.Гетьмана, Україна

Анотація. Запропоновано концептуальну структуру інтелектуального оцінювання впливу впровадження штучного інтелекту на промислово-економічну стійкість. Підхід пов'язує фактори впровадження ШІ, адаптивні механізми та результати економічної стійкості. Структура реалізується через шестирівневу архітектуру, що інтегрує збір даних, семантичне подання знань, аналітику на основі даних, інтелектуальне оцінювання, підтримку прийняття рішень та пояснення, орієнтоване на людину. Запропонований підхід створює основу для подальшого розроблення та емпіричної валідації інтелектуальних систем оцінювання промислово-економічної стійкості.

Ключові слова: штучний інтелект, промислово-економічна стійкість, інтелектуальне оцінювання, інтелектуальна архітектура, семантична інтеграція, аналітика даних, підтримка прийняття рішень.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Abstract. *A conceptual framework for the intelligent assessment of the impact of artificial intelligence implementation on industrial economic resilience is proposed. The approach links AI adoption factors, adaptive mechanisms, and economic resilience outcomes. The framework is implemented through a six-layer architecture integrating data acquisition, semantic knowledge representation, data-driven analytics, intelligent assessment, decision support, and human-centered explanation. The proposed approach provides a foundation for the further development and empirical validation of intelligent systems for assessing industrial economic resilience.*

Keywords: *artificial intelligence, industrial economic resilience, intelligent assessment, intelligent architecture, semantic integration, data-driven analytics, decision support.*

Впровадження технологій ШІ трансформує промислові системи, покращуючи прогнозування, оптимізацію процесів, виявлення ризиків, розподіл ресурсів і підтримку рішень. Водночас промислові підприємства працюють в умовах зростаючої невизначеності, спричиненої волатильністю ринку, перебоями в ланцюжках поставок, енергетичними проблемами, технологічними змінами, геополітичною нестабільністю. Ці фактори підвищують важливість промислово-економічної стійкості як здатності промислових систем підтримувати безперервність роботи, адаптуватися до змінних умов, відновлюватися після збоїв, зберігати конкурентоспроможність і підтримувати сталий розвиток.

Існуючі інтелектуальні промислові системи і архітектури все частіше інтегрують аналітику на основі даних, цифрових двійників, семантичні технології, онтології, графи знань і механізми підтримки рішень. Однак їхня основна увага зазвичай зосереджена на операційній ефективності, оптимізації виробництва, технічному обслуговуванні, сумісності та плануванні. Промислова економічна стійкість рідше розглядається як чітка мета оцінювання. Тому існує потреба в інтегрованому підході.

Запропонований підхід розглядає вплив ШІ на економічну стійкість промисловості через такий концептуальний зв'язок: фактори впровадження ШІ → адаптивні механізми → результати економічної стійкості.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

На основі цього концептуального зв'язку пропонується інтелектуальна структура оцінювання. Структура реалізується за допомогою шестирівневої архітектури, керованої даними. Рівень збору даних (1) інтегрує показники промислової ефективності, економічні показники рівня підприємства, показники впровадження ІІІ, показники цифровізації, експертні оцінки, фактори зовнішнього середовища. Рівень семантичної інтеграції (2) перетворює різномірні дані на структуровані знання за допомогою семантичних моделей, онтологій, структур метаданих, графів знань. Рівень аналітики на основі даних (3) застосовує статистичний аналіз, методи машинного навчання, виявлення закономірностей, виявлення аномалій та прогнозу аналітику для визначення зв'язків між факторами впровадження ІІІ і характеристиками промислової системи. Рівень інтелектуальної оцінки (4) поєднує аналітичні результати з експертними знаннями та правилами оцінки для формування багатовимірного профілю економічної стійкості.

Рівень прийняття рішень (5) перетворює результати оцінювання на інформацію, що підтримує моніторинг стійкості, аналіз сценаріїв, ідентифікацію вразливостей, оцінку стратегій впровадження ІІІ та прийняття стратегічних рішень. Нарешті, рівень пояснення, орієнтований на людину (6), надає інформаційні панелі, візуальну аналітику, звіти з поясненнями, профілі стійкості та інструменти порівняння сценаріїв, покращуючи прозорість та інтерпретованість результатів оцінювання.

Таким чином, запропонована структура поєднує механізми, керовані даними та знаннями, розглядаючи промислово-економічну стійкість як основний об'єкт оцінювання і підтримки рішень. На поточному етапі досліджень запропонована структура є концептуальною та потребує подальшої емпіричної перевірки. Майбутні дослідження будуть зосереджені на формалізації показників економічної стійкості промисловості, розробці процедур кількісної оцінки, виборі і валідації механізмів зважування, а також тестуванні архітектури з використанням реальних промислових даних.

UDC 004.932.72

**AN INTEGRATED PIPELINE FOR LABORATORY ANIMAL
DETECTION, TRACKING, AND END-TO-END IDENTIFICATION**

Ph.D., N. Volkova^[0000-0003-3175-2179], **M. Shvandt**^[0000-0002-4580-3961]

Odesa National Polytechnic University, Ukraine

EMAIL: ¹volkova.n.p@op.edu.ua, ²maxim.shvandt@gmail.com

**ІНТЕГРОВАНІЙ КОНВЕЄР ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ, ВІДСТЕЖЕННЯ
ТА НАСКРІЗНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЛАБОРАТОРНИХ
ТВАРИН**

Ph.D., Н. Волкова, М. Швандт

Національний університет «Одеська політехніка», Україна

***Анотація.** У роботі представлено інтегрований конвеєр детектування, трекінгу та наскрізної ідентифікації лабораторних тварин у відеоданих. Він поєднує удосконалену мережу Mask R-CNN, допоміжну сегментаційну гілку для коригування нестабільних детекцій, модуль арбітражу детекцій, формування треклетів та їх асоціацію за допомогою Mask-TAUDL без ручного присвоєння ідентифікаторів. На трьох тестових відеопослідовностях отримано значення PSWrate 0-0,01 і median(tIoU) 0,81-0,85, що підтверджує можливість формування узгоджених у часі траєкторій зі збереженням ідентичності тварин.*

***Ключові слова:** комп'ютерний зір, обробка відео, лабораторні тварини, детектування об'єктів, трекінг об'єктів, сегментація екземплярів, наскрізна ідентифікація.*

Abstract. An integrated pipeline for detection, tracking, and end-to-end identification of laboratory animals in video data is presented. It combines an auxiliary segmentation branch, an improved Mask R-CNN network, detection arbitration, tracklet construction, and Mask-TAUDL-based association without manual identifier (ID) assignment. Tests on three video sequences yielded PSWrate values of 0-0.01 and median(tIoU) values of 0.81-0.85, confirming the formation of temporally consistent trajectories with preserved identities.

Keywords: computer vision, video processing, laboratory animals, object detection, object tracking, instance segmentation, end-to-end identification.

Automated video monitoring of laboratory animals requires not only their detection in each frame but also the formation of continuous trajectories with persistent identifiers. A non-stationary background, specular reflections, occlusions, and missed detections cause trajectory fragmentation and identity switches (ID switches), reducing the reliability of subsequent computation of behavioral indicators [1].

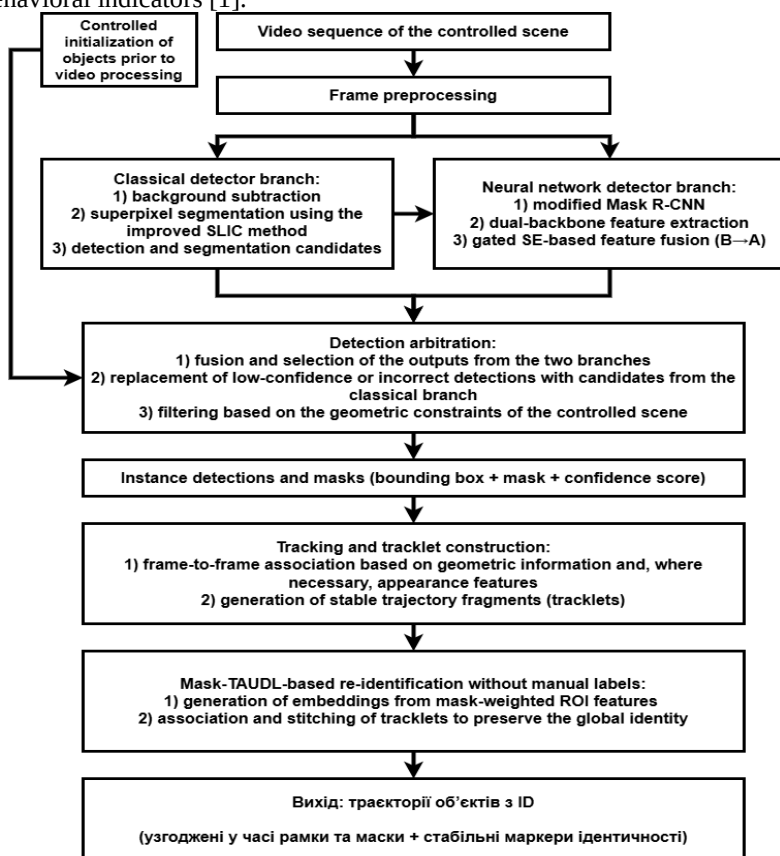


Figure 1. Structural diagram of the integrated pipeline for detection, tracking, and end-to-end identification of laboratory animals

In previous works, the authors developed tools for individual stages of video data processing: an image preprocessing algorithm [2], a multichannel neural network architecture [3], and a tracklet association model without manually assigned ID labels [4]. The aim of this study is to integrate the developed tools into a unified pipeline and evaluate its ability to form temporally consistent trajectories while preserving the IDs of laboratory animals. The pipeline structure is shown in Fig. 1.

After frame preprocessing, candidates are generated in two parallel branches. The auxiliary branch uses background subtraction and the improved SLIC superpixel segmentation method [5], whereas the neural network branch uses the improved Mask R-CNN network with a dual ResNet18-based feature extraction backbone and controlled SE-based feature fusion [3].

Frame-by-frame association based on spatial and mask consistency forms tracklets, which Mask-TAUDL [4] merges when they are separated by occlusions or short visibility gaps.

In the absence of complete frame-level annotations with ground-truth ID labels, evaluation was performed using proxy metrics based on multiple object tracking criteria [6, 7]: *PSWrate* characterizes proxy ID switches; *median(tIoU)* and $P(tIoU < \theta)$ characterize temporal mask consistency; *avg(gaps)* characterizes trajectory fragmentation; and *median(T)* and *S(T)* characterize sufficient observation duration. The evaluation was conducted on three video sequences: a synthetic controlled video sequence of 900 frames, a mouse video of 3,200 frames, and a goby video of 4,320 frames. Computations were performed locally on commercially available hardware. The main results are presented in Table 1.

Across all video sequences, *PSWrate* did not exceed 0.01, while *median(tIoU)* ranged from 0.81 to 0.85, indicating rare proxy ID switches and predominantly temporally consistent masks. At the same time, *avg(gaps)* ranged from 0 for the mouse video to 61 for the goby video; therefore, identity preservation and trajectory continuity should be evaluated separately. Analysis using time windows of 2-20 s showed nearly unchanged *PSWrate* and *median(tIoU)* values; however, trajectory gaps accumulated as the observation duration increased.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Table 1. Tracking stability and identity preservation metrics

Metric	Video 1	Video 2	Video 3
Scene type	synthetic	mice	gobies
Number of frames	900	3200	4320
$PSWrate$	0.002	0	0.01
$median(tIoU)$	0.83	0.81	0.85
$P(tIoU < \theta)$	0.01	0.07	0.05
$avg(gaps)$	8	0	61

Complete occlusions, abrupt mask changes, and consecutive missed detections remain the most challenging cases. Therefore, evaluation of long-term monitoring results should simultaneously consider identity preservation, temporal localization consistency, and fragmentation. Examples of pipeline operation are shown in Fig. 2.

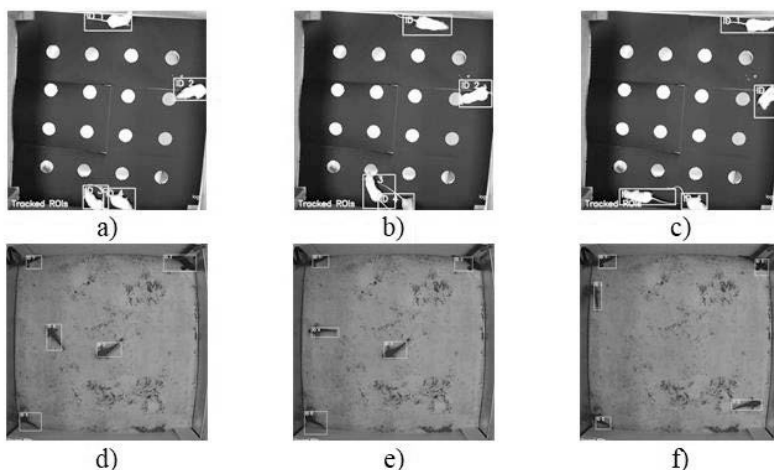


Figure 2. Examples of identity preservation across frames: a, b, c - mouse tracking; d, e, f - goby tracking

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Thus, the integrated pipeline combines preprocessing, two detection sources, instance segmentation, detection arbitration, mask-based tracking, and tracklet re-identification, enabling the formation of temporally consistent trajectories while preserving laboratory animal IDs.

The obtained results confirm the possibility of forming temporally consistent trajectories with persistent IDs in synthetic and real laboratory scenes. The proposed pipeline can serve as a basis for long-term video monitoring and subsequent computation of quantitative behavioral indicators of laboratory animals.

References

1. Shvandt M. A., Moroz V. V. Overview of the detection and tracking methods of the lab animals. System Research & Information Technologies. 2022. No. 1. P. 124-148. <https://doi.org/10.20535/SRIT.2308-8893.2022.1.10>.
2. Volkova N., Shvandt M. Image preprocessing algorithm for object detection & tracking. Information Control Systems and Technologies (ICST-ODESA 2024): Proceedings. Odesa, 2024. P. 194-197.
3. Volkova N., Shvandt M. Object detection network architecture for multichannel images. Information Control Systems and Technologies (ICST-ODESA 2025): Proceedings. 2025. P. 166-169. <https://doi.org/10.36059/978-966-397-531-3>.
4. Volkova N. P., Shvandt M. A. Unsupervised re-identification architecture based on segmented tracklets for animal behavior analysis. Herald of Advanced Information Technology. 2025. Vol. 8, No. 4. P. 476-487. <https://doi.org/10.15276/hait.08.2025.30>.
5. Achanta R., Shaji A., Smith K., Lucchi A., Fua P., Süsstrunk S. SLIC Superpixels Compared to State-of-the-Art Superpixel Methods. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2012. Vol. 34, No. 11. P. 2274-2282. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2012.120>.
6. Bernardin K., Stiefelwagen R. Evaluating Multiple Object Tracking Performance: The CLEAR MOT Metrics. EURASIP Journal on Image and Video Processing. 2008. Article ID 246309. <https://doi.org/10.1155/2008/246309>.
7. Dendorfer P., Osep A., Milan A., Schindler K., Cremers D., Reid I., Roth S., Leal-Taixé L. MOTChallenge: A Benchmark for Single-Camera Multiple Target Tracking. International Journal of Computer Vision. 2021. Vol. 129, No. 4. P. 845-881. <https://doi.org/10.1007/s11263-020-01393-0>.

УДК 004.8:376

**APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE
TECHNOLOGIES FOR PREDICTING SALT DEPOSITION IN
WELLS AND FLOWLINES AT UNDERGROUND GAS STORAGE
FACILITIES**

**Ph.D., V. Volovetskyi¹[0000-0001-8575-5143], Dr.Sci., P. Raiter²[0000-0002-3437-2844],
O. Shchyrb³[0000-0002-4584-7446], Dr.Sci., Y. Romanyshyn⁴[0000-0001-7231-8040]**

¹*Branch R&D Institute of Gas Transportation Joint Stock Company «Ukrtransgaz»,
Ukraine,*

^{2,4}*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine,*

³*Branch Ukrainian Scientific Research Institute of Natural Gases Public Joint Stock
Company «Ukrasvydobuvannya», Ukraine*

*EMAIL: 1vzb11@ukr.net, 2petro.raiter@nung.edu.ua, 3omschyrb@ukr.net,
4yulromanyshyn@gmail.com*

**ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ
ПРОГНОЗУВАННЯ СОЛЕВІДКЛАДЕННЯ У СВЕРДЛОВИНАХ
ТА ШЛЕЙФАХ НА ГАЗОСХОВИЩАХ**

**Ph.D., В. Воловецький¹, Dr.Sci., П. Райтер², О. Щирба³,
Dr.Sci., Ю. Романишин⁴**

¹*Філія «Науково-дослідний інститут транспорту газу» АТ «Укртрансгаз»,
Україна,*

^{2,4}*Івано-Франківський національний технічний університет
нафти і газу, Україна,*

³*Філія «Науково-дослідний інститут природних газів» АТ
«Укргазвидобування», Україна*

Анотація. Розглянуто ускладнення, які можна спостерігати під час відбирання газу зі свердловин газосховищ, зокрема відкладання солей у свердловинах та шлейфах. Розроблено систему прогнозування відкладання солей у свердловині та шлейфі, що передбачає застосування програмних рішень та технологій штучного інтелекту.

Ключові слова: газосховища, свердловина, шлейф, відкладання солей, штучний інтелект.

Abstract. Complications that may occur during gas withdrawal from gas storage facilities, in particular salt deposits in wells and flowlines, are considered. A system for predicting salt deposits in wells and flowlines has been developed using software and artificial intelligence technologies.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Keywords: *underground gas storage, well, flowline, salt deposition, artificial intelligence technologies.*

Під час відбирання газу зі свердловин газосховищ можуть виникати різні ускладнення. Вони негативно впливають на забезпечення технологічного режиму експлуатування свердловин і, відповідно, призводять до зниження експлуатаційних показників та об'єму відбирання газу. Тому потрібен комплексний підхід, який передбачає детальне вивчення причин виникнення ускладнень та розроблення заходів для їх запобігання. Отже, важливим є забезпечення стабільного експлуатування свердловин газосховищ. Для досягнення цього потрібно своєчасно виявляти ускладнення та застосовувати різні методи для боротьби з ними. Одним із заходів розв'язання цієї проблеми є розроблення системи прогнозування, що передбачає застосування програмних рішень та технологій штучного інтелекту. У сезон відбору на газосховищах відбувається рух газу з пласта до вибою свердловин. У подальшому газ колоною ліфтових труб та шлейфом надходить до установки системи збирання і підготовки газу для його очищення у сепараторах від механічних домішок та рідини. Проте, під час руху газу у привибійній зоні, інтервалах перфорації, в експлуатаційних колонах, на внутрішній поверхні колони ліфтових труб від вибою до гирла, у фонтанній арматурі свердловини, як на різних ділянках шлейфів (прямолинійних та понижених, так і у місцевих опорах (відводах, переходах, трійниках) можна спостерігати відкладання солей. Ці відкладення є твердими, вони можуть утворювати непрохідні пробки та кіркоподібні нашарування і відкладатися переважно на внутрішній поверхні ліфтових труб на різну довжину (до декількох десятків метрів) та товщину. Внаслідок відкладання солей відбувається зменшення прохідного внутрішнього діаметра ліфтових труб, що призводить до зменшення продуктивності свердловин та газосховища в цілому [1]. Потрібно сказати, що в окремих випадках відкладення солей часто бувають дуже міцними, оскільки відбувається утворення суцільної глухої пробки. Це призводить до нестабільного експлуатування свердловин, а в деяких випадках – і до їх повної зупинки через припинення руху газу. Такі ускладнення негативно впливають на можливість забезпечення експлуатування свердловин згідно з

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

технологічним режимом та, в цілому, на стабільну роботу газосховища. З огляду на це, виникає необхідність у детальному її вивченні та розробленні ефективних заходів для запобігання такого роду ускладнень. Автори розробили систему прогнозування солевідкладення у свердловинах та шлейфах, яка передбачає:

- на свердловинах, в яких відбувається відкладання солей, потрібно відбирати воду для проведення аналізу на фізико-хімічні показники (хімічний склад, мінералізацію) і фіксувати результати в електронному журналі та передбачити подальше передавання інформації для зберігання у базі даних на комп'ютері користувача;

- встановлення давачів тиску та температури як на гирлі свердловин (трубний і затрубний простір), так і на вхідних газопроводах установки від'єднувальних пристроїв системи збирання і підготовки газу. Окрім цього, доцільно передбачити передавання інформації із давачів тиску і температури до пристроїв її збирання, установлених за місцем, та подальше передавання інформації для зберігання у базі даних на комп'ютері користувача. Це дасть змогу проводити детальне аналізування робочих параметрів свердловин за весь період їх експлуатування;

- на свердловинах, в яких відбувається зміна параметрів експлуатування (зниження вхідного тиску), проводити контрольне вимірювання дебіту газу, фіксувати результати в електронному журналі та передбачити подальше передавання інформації для зберігання у базі даних на комп'ютері користувача;

- установлення на персональний комп'ютер програмного забезпечення для автоматизованого визначення значень коефіцієнтів фактичного й теоретичного гідравлічного опору ліфтових колон і шлейфів та співставлення їх. У разі збільшення значення коефіцієнта фактичного гідравлічного опору понад задане, передбачено виведення повідомлення на монітор комп'ютера персоналу щодо можливості ускладнень [2]: «аварійний стан» або «аварія». Результати виконаних розрахунків подавати у формі таблиць і графічно візуалізувати на моніторі та фіксувати результати в електронному журналі та передбачити подальше передавання інформації для зберігання у базі даних на комп'ютері користувача;

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE

"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

– на основі фактичної інформації із бази даних за відомими методиками автоматизувати розрахунки ймовірності солевідкладення;
– застосувати технології штучного інтелекту для прогнозування солевідкладення за наявності актуальної оновленої інформації із бази даних та можливістю удосконалення алгоритму прогнозування штучної нейронної мережі.

Уживання запропонованих заходів дасть змогу прогнозувати солевідкладення у свердловинах та шлейфах за допомогою застосування як програмних рішень, так і технологій штучного інтелекту, а також своєчасно вживати відповідних заходів і забезпечувати стабільний відбір газу.

Література

1. Volovetskyi V.B., Shchyrba O.M., Mykhailiv I.R., Romanyshyn Y.L., Fridman O.A., Sheketa V.I., Aleksieiev O.M. Features of salt deposition in underground gas storage facilities, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 131/1 (2025) 26-41. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0055.4367>.
2. Воловецький В., Дорошенко Я., Щирба О. Моніторинг гідравлічного опору ліфтових колон і трубопроводів системи збирання та підготовки газу. Контроль і управління в складних системах (КУСС – 2020): тези доповідей XV-ї Міжнародної конференції, 08 – 10 жовтня 2020. Вінниця: ВНТУ, 2020. С. 131-133.
3. Воловецький В. Б., Дорошенко Я.В., Щирба О.М., Левицький А.М. Контролювання гідравлічного опору свердловин та шлейфів газосховищ для забезпечення стабільного відбирання газу. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXIV Міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2026 (13-16 травня 2026 р., Харків). Харків: Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». 2026. С. 1510.

УДК (043)004.94

**METHODS OF USING CONDITIONAL GENERATIVE
ADVERSARIAL NETWORKS TO BALANCE IMBALANCED
SAMPLES IN IMAGE RECOGNITION COMPUTER VISION
SYSTEMS**

K. Mikhalev^{1[0009-0007-8058-4569]}, **Ph.D., A. Nikolenko**^{2[0000-0002-9849-1797]},
Ph.D., O. Babilunha^{3[0000-0001-6431-3557]}

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Odesa Polytechnic National University, Ukraine
EMAIL: ¹kirill.mikhalev.9035@gmail.com, ²anatolyn@ukr.net,
³babilunga.onpu@gmail.com

**МЕТОДИ ВИКОРИСТАННЯ УМОВНИХ ГЕНЕРАТИВНО-
ЗМАГАЛЬНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ БАЛАНСУВАННЯ
НЕЗБАЛАНСОВАНИХ ВИБІРОК У КОМП'ЮТЕРНИХ
СИСТЕМАХ РОЗПІЗНАВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ**

К. Міхалев, Ph.D., А. Ніколенко, Ph.D., О. Бабілунга
Національний університет «Одеська політехніка», Україна

***Анотація.** Розглянуто проблему дисбалансу класів у системах комп'ютерного зору. Запропоновано метод Class-Aware Selective cGAN, що поєднує умовну генерацію синтетичних зображень, селективну фільтрацію за двома критеріями та адаптивне балансування на основі медіани. На датасеті HAM10000 (дисбаланс 58.3:1) метод забезпечив зростання збалансованої точності з 0.35 до 0.67 та макро-F1 з 0.56 до 0.65*

***Ключові слова:** дисбаланс класів, генеративно-змагальні мережі, генерація зображень, селективна фільтрація, розпізнавання зображень.*

***Abstract.** This paper addresses class imbalance in computer vision systems. The proposed Class-Aware Selective cGAN method combines conditional synthetic image generation, dual-criterion selective filtering, and median-based adaptive balancing. On HAM10000 (imbalance ratio 58.3:1), the method improved balanced accuracy from 0.35 to 0.67 and macro-F1 from 0.56 to 0.65.*

***Keywords:** class imbalance, generative adversarial networks, image generation, selective filtering, image recognition.*

Реальні набори зображень часто незбалансовані: окремі класи представлені тисячами прикладів, тоді як інші – лише десятками, що зумовлює зміщення моделей у бік домінуючих класів і зниження якості розпізнавання рідкісних категорій. Існуючі підходи (oversampling, аугментація, GAN без контролю якості) розв'язують цю проблему лише частково.

Методи надвибірки та недовибірки змінюють структуру вибірки механічно, не враховуючи закономірностей розподілу даних. Класична аугментація не створює принципово нових ознак. Генеративно-

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

змагальні мережі [1] дозволяють синтезувати нові зображення з урахуванням класу; поєднання класичних методів надвибірки з подальшим GAN-уточненням синтетичних прикладів також демонструє покращені результати [2]. Запропоновано метод Class-Aware Selective cGAN, що поєднує три компоненти: умовну генеративно-змагальну мережу для синтезу зображень заданого класу; механізм селективної фільтрації – головний науковий внесок роботи, узгоджений із нещодавніми дослідженнями ефективності впевненість-зваженої фільтрації згенерованих даних [3], за якого попередньо навчений класифікатор приймає згенероване зображення лише за високої впевненості та збігу передбаченого класу із цільовим, відсіюючи зображення з артефактами; та адаптивне балансування на основі медіанного значення кількості прикладів замість повного вирівнювання до найбільшого класу. Дослідження проведено на HAM10000 [4] – понад десять тисяч дерматоскопічних зображень семи класів із дисбалансом 58.3 до 1, датасеті, який широко використовується для оцінки методів балансування у дерматологічній діагностиці, зокрема разом із генеративними підходами на основі дифузійних моделей для синтезу зображень шкірних захворювань [5]. Класифікатор-фільтр досяг точності 81.3% і приймав у середньому 57.6% згенерованих зображень.

Для актинічного кератозу F1 зріс із 46% до 52%. Для базальноклітинної карциноми – з 45% до 61%. Для доброякісного кератозу – з 51% до 56%. Для дерматофіброми, найменш представленого класу, базова модель повністю не розпізнавала жодного випадку, тоді як запропонований метод досяг F1 на рівні 67%. Для меланоми запропонований метод забезпечив значно збалансованіше співвідношення точності й повноти. Для судинних уражень F1 зріс із 43% до 85%. Для домінуючого класу меланоцитарних невусів F1 залишився практично незмінним – 92% проти 85%. У середньому повнота розпізнавання по шести міноритарних класах зросла із 42% до 66%, приріст майже на 50%.

Результати підтверджують ефективність поєднання умовної генерації із селективною фільтрацією для розв'язання проблеми зміщення моделей у бік домінуючих класів.

**International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"**

Література

1. Liu, A., Ghosh, J., & Martin, C. (2021). A survey on generative adversarial networks for imbalance problems in computer vision tasks. *Journal of Big Data*, 8(1), 27. <https://doi.org/10.1186/s40537-021-00414-0>
2. Sharma, A., Singh, P. K., & Chandra, R. (2022). SMOTified-GAN for class imbalanced pattern classification problems. *IEEE Access*, 10, 30655–30665. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3158977>
3. Gökçen, A., & Boyacı, A. (2025). Robust federated learning with confidence-weighted filtering and GAN-based completion under noisy and incomplete data. *arXiv preprint*. <https://arxiv.org/abs/2505.09733>
4. Nguyen, V. D., Bui, N. D., & Do, H. K. (2022). Skin lesion classification on imbalanced data using deep learning with soft attention. *Sensors*, 22(19), 7530. <https://doi.org/10.3390/s22197530>
5. Akrou, M., et al. (2023). Diffusion-based data augmentation for skin disease classification: Impact across original medical datasets to fully synthetic images. *Deep Generative Models (MICCAI Workshop), Lecture Notes in Computer Science*, 14533, 99–109. https://doi.org/10.1007/978-3-031-53767-7_10

УДК 004.93

**NEURAL NETWORK-BASED DISCRIMINATIVE FEATURE
FORMATION AND AGGREGATION FOR FINE-GRAINED IMAGE
CLASSIFICATION**

**A. Kusakov^{1[0009-0008-3590-8664]}, Dr.Sci., A. Oliinyk^{2[0000-0002-6740-6078]},
Ph.D., T. Kolpakova^{3[0000-0001-8307-8134]}, O. Lukovka^{4[0009-0007-2012-8422]}**
National University "Zaporizhzhia Polytechnic", Ukraine
*EMAIL: ¹kusakov@hey.com, ²olejnika@gmail.com, ³t.o.kolpakova@gmail.com,
⁴lukerlexa@gmail.com*

**НЕЙРОМЕРЕЖЕВЕ ФОРМУВАННЯ ТА АГРЕГАЦІЯ
ДИСКРИМІНАТИВНИХ ОЗНАК ДЛЯ ДРІБНОЗЕРНИСТОЇ
КЛАСИФІКАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ**

А. Кусаков, Dr.Sci., А. Олійник, Ph.D., Т. Колпакова, О. Луковка
Національний університет «Запорізька політехніка», Україна

Анотація. У роботі досліджено легковаговий підхід до багаторівневої агрегації ознак у задачах дрібнозернистої класифікації зображень. Ознаки з

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

проміжних і глибоких блоків компактної згорткової нейронної мережі об'єднуються за допомогою глобального усереднювального пулінгу, конкатенації та лінійної проєкції. Експерименти на CUB-200-2011 та Oxford Flowers 102 показали стабільне підвищення точності порівняно з базовою моделлю за незначного збільшення кількості параметрів.

Ключові слова: *дрібнозерниста класифікація, згорткова нейронна мережа, багаторівнева агрегація ознак, дискримінативне представлення, глобальний усереднювальний пулінг, розпізнавання зображень.*

Abstract. *This work investigates a lightweight approach to multi-level feature aggregation for fine-grained image classification. Features from intermediate and deep blocks of a compact convolutional neural network are combined using global average pooling, concatenation, and linear projection. Experiments on CUB-200-2011 and Oxford Flowers 102 demonstrate consistent accuracy improvements over the baseline model while introducing only a limited increase in the number of trainable parameters.*

Keywords: *fine-grained classification, convolutional neural network, multi-level feature aggregation, discriminative representation, global average pooling, image recognition.*

Дрібнозерниста класифікація зображень передбачає розпізнавання візуально подібних підкатегорій, міжкласові відмінності яких часто зосереджені в незначних деталях форми, текстури або забарвлення. Метою роботи є підвищення точності такої класифікації шляхом об'єднання ознак, сформованих на різних рівнях компактної згорткової нейронної мережі.

Запропонована модель містить п'ять послідовних згорткових блоків із 96, 256, 384, 384 та 256 фільтрами. Для багаторівневого представлення використовуються виходи третього, четвертого та п'ятого блоків. До них застосовується глобальний усереднювальний пулінг, після чого отримані вектори конкатенуються в 1024-вимірний дескриптор і проєктуються повнозв'язним шаром у 512-вимірний простір ознак. Навчання виконується за функцією перехресної ентропії з використанням dropout-регуляризації перед фінальним класифікаційним шаром.

Експериментальне оцінювання проведено на CUB-200-2011, що містить 11 788 зображень 200 видів птахів [1], та Oxford Flowers 102, що

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

містить 8 189 зображень 102 категорій квітів [2]. Згорткову основу ініціалізовано вагами ImageNet і донавчено протягом 200 епох. Для оцінювання внеску агрегації використано базову конфігурацію з аналогічним протоколом навчання, у якій класифікація виконується лише за ознаками п'ятого згорткового блока.

Таблиця 1. Точність класифікації базової та запропонованої моделей, %

Модель	CUB-200-2011	Oxford Flowers 102
Базова CNN	73,2	86,8
Запропонована модель із багаторівневою агрегацією	76,1 ± 0,3	89,5 ± 0,2

Запропонований підхід підвищив точність на 2,9 відсоткового пункту для CUB-200-2011 та на 2,7 відсоткового пункту для Oxford Flowers 102. Результати запропонованої моделі є середніми значеннями трьох незалежних запусків; стандартні відхилення становили відповідно 0,3 та 0,2 відсоткового пункту. Абляційне дослідження також показало послідовне покращення під час додавання проміжних представлень: використання Conv4 + Conv5 забезпечило 74,6 % і 88,0 %, тоді як агрегація Conv3 + Conv4 + Conv5 підвищила точність до 76,1 % і 89,5 %.

Глобальний усереднювальний пулінг і конкатенація не містять параметрів, що навчаються. Порівняно з базовою моделлю розмірність входу проєкційного шару збільшується з 256 до 1024, що додає 393 216 ваг, тоді як згорткова основа залишається незмінною. Отже, запропонована багаторівнева агрегація дає змогу покращити результати дрібнозернистої класифікації за обмеженого збільшення складності моделі.

Література

1. Wah, C., Branson, S., Welinder, P., Perona, P., & Belongie, S. (2011). The Caltech-UCSD Birds-200-2011 dataset. California Institute of Technology.
2. Nilsback, M.-E., & Zisserman, A. (2008). Automated flower classification over a large number of classes. In Proceedings of the Indian Conference on Computer Vision, Graphics and Image Processing (pp. 722–729). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICVGIP.2008.47>

УДК 004.8:376

**THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO SUPPORT
INCLUSIVE EDUCATION**

Ph.D., N. Brynza^{1[0000-0002-0229-2874]}, **D. Tarasova**^{2[0009-0009-8980-1982]}

Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Ukraine

EMAIL: ¹natalia.brynza@hneu.net, ²diana.tarasova@hneu.net

**ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ПІДТРИМКИ
ІНКЛЮЗИВНОГО НАВЧАННЯ**

Ph.D., Н. Бринза, Д. Тарасова

*Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця,
Україна*

***Анотація.** У роботі розглянуто можливості використання технологій штучного інтелекту для підтримки інклюзивного навчання у закладах вищої освіти. Проаналізовано основні проблеми доступності освітнього процесу для студентів із фізичними та когнітивними особливостями, а також роль цифрових платформ у забезпеченні інклюзивності. Особливу увагу приділено застосуванню інтелектуальних систем для персоналізації навчання, адаптації освітнього контенту, автоматичного формування рекомендацій та підтримки студентів у дистанційному середовищі. Визначено перспективи впровадження штучного інтелекту для підвищення доступності та якості вищої освіти в Україні.*

***Ключові слова:** штучний інтелект, інклюзивне навчання, вища освіта, цифрові технології, персоналізація навчання, адаптивне освітнє середовище.*

Abstract. The paper examines the possibilities of using artificial intelligence technologies to support inclusive learning in higher education institutions. The main challenges of ensuring accessibility of the educational process for students with physical and cognitive disabilities are analyzed, along with the role of digital learning platforms in promoting inclusiveness. Particular attention is paid to intelligent systems for personalized learning, adaptation of educational content, automated recommendations, and student support in distance learning environments. The study identifies the prospects for implementing artificial intelligence technologies to improve the accessibility and quality of higher education in Ukraine.

Keywords: artificial intelligence, inclusive learning, higher education, digital technologies, personalized learning, adaptive educational environment.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

У сучасних умовах цифрової трансформації освіти в Україні особливої актуальності набуває забезпечення інклюзивності навчального процесу у закладах вищої освіти. Інклюзивна освіта передбачає створення рівних можливостей для всіх здобувачів, незалежно від їх фізичних чи когнітивних особливостей. Водночас, на відміну від загальноосвітніх закладів, де інклюзивні підходи частково реалізуються через адаптовані навчальні програми, у системі вищої освіти такі механізми залишаються недостатньо розвиненими. У більшості університетів студенти навчаються за єдиними освітніми програмами, що не враховують індивідуальні потреби осіб із порушеннями зору, слуху, моторики, а також студентів із різними когнітивними особливостями, такими як різний темп засвоєння інформації, труднощі з концентрацією або обробкою складного матеріалу. Це створює бар'єри у доступі до освіти та знижує ефективність навчання. Особливої актуальності дана проблема набуває у контексті післявоєнного відновлення України. Зростання кількості осіб, зокрема військовослужбовців, які повертаються до цивільного життя та потребують здобуття або продовження вищої освіти. Частина з них може мати фізичні обмеження (порушення мобільності, зору, слуху), а також психологічні чи когнітивні труднощі, що виникають внаслідок пережитого досвіду. Водночас вже сьогодні спостерігається недостатній рівень адаптації інфраструктури та соціального середовища до потреб таких осіб, що проявляється у складності виконання навіть базових повсякденних дій без сторонньої допомоги. Це свідчить про необхідність системного розвитку інклюзивності, зокрема у сфері вищої освіти, де цифрові технології можуть відігравати ключову роль у забезпеченні доступності навчання.

Сучасні університети поступово впроваджують цифрові платформи навчання, які частково сприяють підвищенню доступності освітнього середовища. Зокрема, у Харківському національному економічному університеті імені Семена Кузнеця використовується платформа персональних навчальних систем (ПНС), що містить інструменти базової доступності. Одним із таких інструментів є меню доступності (Accessibility menu), яке дозволяє змінювати параметри відображення контенту (розмір шрифту, контрастність, читабельність). Такі функції є

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

корисними не лише для осіб із порушеннями зору, а й частково для студентів із когнітивними труднощами або підвищеним навантаженням.

Зазначені інструменти мають статичний характер і не забезпечують інтелектуальної адаптації навчального процесу. Вони не враховують індивідуальні особливості студента, його рівень підготовки, темп навчання та специфіку сприйняття інформації. У зв'язку з цим постає необхідність переходу до більш гнучких та адаптивних підходів, зокрема із застосуванням технологій штучного інтелекту. Метою є аналіз можливостей використання штучного інтелекту для підтримки інклюзивного навчання у закладах вищої освіти. Штучний інтелект відкриває нові можливості для організації навчального процесу. Одним із найбільш перспективних напрямів є інтеграція інтелектуальних систем у освітні платформи, що забезпечує динамічну взаємодію студента з навчальним контентом.

Сучасні підходи передбачають використання штучного інтелекту для аналізу навчальних матеріалів, таких як відеозаписи лекцій, презентації, текстові документи та практичні завдання. На основі такого аналізу формується єдина інтелектуальна база знань з конкретної дисципліни. Це дозволяє реалізувати інтерактивну взаємодію студента з матеріалом через вбудований чат-асистент. У такій моделі студент отримує можливість у процесі навчання ставити запитання щодо матеріалу лекції, уточнювати незрозумілі моменти, отримувати пояснення складних тем або альтернативні формулювання. Наприклад, студент може звернутися до системи з проханням пояснити певний термін простішими словами, навести приклад або коротко узагальнити зміст лекції. Це особливо важливо для осіб із когнітивними труднощами, яким необхідне повторне або спрощене пояснення навчального матеріалу. Такі системи можуть автоматично адаптувати формат подання інформації. Наприклад, текст може бути перетворений на аудіо для студентів із порушеннями зору, а відеоматеріали – доповнені субтитрами або структурованими конспектами. Це забезпечує мультимедійність навчального контенту та підвищує його доступність. Важливою функцією штучного інтелекту є персоналізація навчання. Інтелектуальні системи можуть аналізувати поведінку студента, його успішність, частоту звернення до матеріалів та на основі

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

цього пропонувати індивідуальні рекомендації. Це дозволяє формувати адаптивні освітні траєкторії, які враховують особливості кожного здобувача освіти. Штучний інтелект може використовуватися для раннього виявлення труднощів у навчанні. Аналізуючи активність студента, система здатна визначати теми, які викликають найбільші складнощі, та пропонувати додаткові матеріали або пояснення. Це дозволяє своєчасно реагувати на проблеми та запобігати академічній неуспішності. Штучний інтелект не замінює викладача, а виступає як допоміжний інструмент. Його використання дозволяє зменшити навантаження на викладача, автоматизувати частину пояснень та забезпечити постійну підтримку студентів поза межами аудиторії.

В умовах України, де освітній процес часто здійснюється у дистанційному або змішаному форматі, а також в умовах підвищеного психологічного навантаження, впровадження інтелектуальних технологій у сферу інклюзивної освіти є особливо актуальним. Це дозволяє забезпечити гнучкість, доступність та безперервність навчання. Отже, використання штучного інтелекту у закладах вищої освіти сприяє формуванню сучасного інклюзивного освітнього середовища, яке враховує різноманітність потреб студентів. Інтеграція інтелектуальних систем у навчальні платформи відкриває можливості для персоналізації навчання, підвищення доступності освітнього контенту та покращення якості освіти загалом. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розроблення та впровадження комплексних інтелектуальних систем підтримки навчання, адаптованих до умов української освітньої системи.

Література

1. UNESCO. Two-thirds of higher education institutions have or are developing guidance on AI use. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.unesco.org/en/articles/unesco-survey-two-thirds-higher-education-institutions-have-or-are-developing-guidance-ai-use>(Датазвернення:22.03.2026).
2. Ілійчук Л. Штучний інтелект і якість освіти: можливості, виклики та перспективи. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dnrb.gov.ua/ojs/npstudies/article/view/144> (Дата звернення: 22.03.2026).

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

3. Тютюн А. В. Штучний інтелект як засіб підвищення якості освіти людей з особливими потребами. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ir.stu.cn.ua/items/974ac306-4364-4316-a628-f05a57fecbe8> (Дата звернення: 23.03.2026).
4. Fitas R. Inclusive education with AI: supporting special needs and tackling language barriers. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://link.springer.com/article/10.1007/s43681-025-00824-3> (Дата звернення: 23.03.2026).
5. Шевчук О.В. Вплив цифрових технологій на інклюзивну освіту. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://journals.kpdi.in.ua/index.php/inclusion-society/article/view/133> (Дата звернення: 23.03.2026).

УДК 004.93

**EFFECTIVENESS ASSESSMENT OF A CLASSICAL IMAGE
PROCESSING PIPELINE AND YOLOv5s FOR AERIAL OBJECT
DETECTION**

Ph.D., K. Merkulova¹[0000-0001-6347-5191], **Ph.D., Y. Zhabska**²[0000-0002-9917-3723],
D. Kalytovskyi³[0009-0009-5178-6107]

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine
EMAIL:¹kate.don11@gmail.com, y.zhabska@gmail.com, ³dkalytovskyi@knu.ua

**ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КЛАСИЧНОГО КОНВЕЄРА
ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ТА YOLOv5s ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ
ОБ'ЄКТІВ НА АЕРОЗНІМКАХ**

Ph.D., К. Меркулова, Ph.D., Є. Жабська, Д. Калитовський
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Україна

***Анотація.** У роботі проведено порівняльне дослідження ефективності класичного конвеєра обробки зображень і детектора YOLOv5s для виявлення об'єктів на аерознімках із використанням підмножини набору даних DOTA. Якість обох підходів оцінено за показниками Precision, Recall, F1-score та IoU. Результати експериментів засвідчили перевагу YOLOv5s за точністю виявлення та локалізації об'єктів, тоді як класичний підхід продемонстрував вищий Recall, але значну залежність від параметрів попередньої обробки.*

***Ключові слова:** виявлення об'єктів, методи обробки зображень, YOLOv5, комп'ютерний зір, інформаційні технології.*

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Abstract. *This paper presents a comparative evaluation of a classical image processing pipeline and the YOLOv5s detector for object detection in aerial imagery using a subset of the DOTA dataset. Both approaches were evaluated using Precision, Recall, F1-score, and IoU metrics. The experimental results demonstrate the superiority of YOLOv5s in terms of detection accuracy and localization performance, while the classical approach achieved higher Recall but exhibited strong sensitivity to preprocessing parameters.*

Keywords: *object detection, image processing methods, YOLOv5, computer vision, information technology.*

Introduction. Object detection in aerial imagery is difficult due to scale variation, dense object placement, and complex backgrounds [1]. Deep learning detectors, particularly the YOLO family, dominate the field, yet a direct comparison with a hand-crafted classical pipeline on the same data is useful for understanding trade-offs between interpretability, computational cost, and robustness [2]. The purpose of this work is to compare a classical image processing pipeline with YOLOv5s for multi-class object detection in aerial imagery and to analyze the sensitivity of the classical approach to preprocessing parameters.

Methods. Experiments were performed on a DOTA subset of about 600 images and 40,000+ annotated objects of four classes (plane, ship, large-vehicle, small-vehicle), split 80/20 for training/validation. The classical baseline applies grayscale conversion, normalization, CLAHE, Gaussian smoothing, and Otsu or adaptive thresholding, followed by contour-based bounding-box extraction [3]; seven configurations were tested. YOLOv5s was trained for 60 epochs on 768×768 images, batch size 16. Both approaches were evaluated on the same validation subset using Precision, Recall, F1-score, and Intersection over Union (see Figure 1).

Results and discussion. YOLOv5s [5] performed best on the visually distinct plane and ship classes and weakest on small-vehicle, due to its scale and dense placement. The classical pipeline was highly sensitive to CLAHE and Gaussian smoothing settings: stronger contrast enhancement raised recall but amplified background structures into false contours, while stronger blur suppressed small objects (see Figure 2). The best classical configuration (Gaussian blur $\sigma = 1.2$, normalization, Otsu thresholding, contours) is compared with YOLOv5s in Table 1. The classical pipeline

reaches higher recall but much lower precision, reflecting false positives from roads, roof edges, and shadows misread as objects. YOLOv5s gives cleaner, more consistent detections and a better precision–recall balance, confirming the advantage of learned features in cluttered aerial scenes.

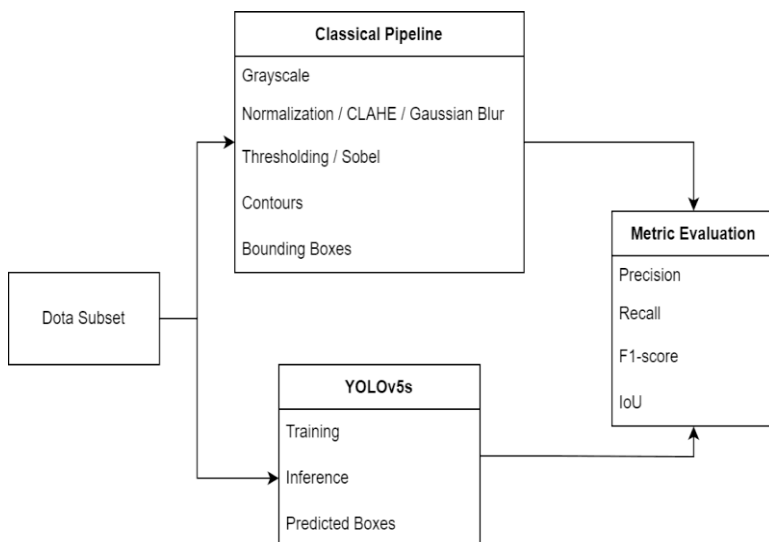


Figure 1. Experimental Comparison Framework

Table 1. Comparison of the best classical configuration and YOLOv5s

Method	Precision	Recall	F1-score	IoU
Classical pipeline	0.321	0.815	0.461	0.505
YOLOv5s	0.711	0.586	0.643	0.68

Conclusion. YOLOv5s provides more balanced and robust multi-class object detection in aerial imagery than the classical pipeline, which remains useful mainly as an interpretable, lightweight baseline or preprocessing step.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Future work will target small-object detection and hybrid classical-neural approaches.

References

1. Ding, J., Xue, N., Long, Y., Xia, G.-S., & Lu, Q. (2021). Object detection in aerial images: A large-scale benchmark and challenges. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 44(11), 7778–7796. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2021.3117983>.
2. Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You only look once: Unified, real-time object detection. In *Proc. IEEE CVPR* (pp. 779–788). <https://doi.org/10.48550/arXiv.1506.02640>.
3. Pizer, S. M., Amburn, E. P., Austin, J. D., et al. (1987). Adaptive histogram equalization and its variations. *Comput. Vision Graph. Image Process.*, 39(3), 355–368. [https://doi.org/10.1016/S0734-189X\(87\)80186-X](https://doi.org/10.1016/S0734-189X(87)80186-X).

UDC 004.92:004.8

INTERMEDIAL APPROACHES IN MEDIA DESIGN

Ph.D., T. Holubnyk¹[0000-0002-8325-9813], Ph.D., O. Borysenko²[0000-0002-4289-4554]

Lviv Polytechnic National University, Ukraine

EMAIL: ¹tetiana.s.holubnyk@lpnu.ua, ²olha.m.borysenko@lpnu.ua

ІНТЕРМЕДІАЛЬНІ ПІДХОДИ У МЕДІАДИЗАЙНІ

Ph.D., T. Holubnyk, Ph.D., O. Борисенко

Національний університет «Львівська політехніка», Україна

***Анотація.** У праці проаналізовано сучасні підходи до творення книги, актуальність яких зумовлена трансформацією читачьких практик. Охарактеризовано основні інтермедіальні підходи в дизайні книжкових видань та визначено їхнє значення для формування читачького досвіду. На прикладі концепції створення сучасного книжкового видання виявлено паралелі в комунікації медіаконтенту й виокремлено принципи інтермедіального медіадизайну.*

***Ключові слова:** інтермедіальні підходи, дизайн, медіаконтент, принципи, проєктування, мистецтво, прототип.*

***Abstract.** The paper analyzes modern approaches to book creation, the relevance of which is driven by the transformation of reading practices. It characterizes the main intermedial approaches in book design and determines their significance for*

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

shaping the reading experience. Drawing on the concept of creating a modern book publication, the study identifies parallels in media content communication and outlines the principles of intermedial media design.

Keywords: *intermedia approaches, design, media content, principles, planning, art, prototype.*

Modern book design goes beyond the purely graphic design of the text. A book increasingly appears as a complex material, visual, and digital object, in which the content is formed by the interaction of text, image, typography, paper, construction, tactile properties, and digital technologies. This approach is associated with intermediality – the interaction of different media in one work or publishing project.

The concept of intermediality in book design. Intermediality in book design can be defined as the interaction of different media, materials, and modes of perception, as a result of which the form of the publication becomes part of its content. In contrast to the traditional understanding of the book as a neutral carrier of the message, the materialist approach considers the physical properties of the book artifact as a factor in the creation of meaning. The format, structure, and way of using the book affect the reader's attention [1]. Intermediality is not limited to the combination of and digital formats. The material-tactile approach is based on the fact that paper, binding, texture, embossing, die-cutting, sewing, and other production techniques are not only technical characteristics, but also means of artistic communication. Projects in which book design interacts with textile art acquire particular importance. Embroidered illustrations, for example, add a tactile dimension to visual perception and expand the concept of book illustration. An important role is played by paratexts – the cover, flyleaf, title page, spine, dust jacket, marginalia, and other elements surrounding the main text. The cover can function as a threshold between the materiality of the book object and its content, forming the reader's expectations even before reading [2].

Typography in intermedia publishing performs not only a verbal, but also an imaginative and spatial function. The size, style, line direction, type density, color, and placement of text can convey pace, voice, movement, fragmentation, or emotional state. The interaction of text and image creates a multimodal message in which meaning arises not from individual components but from their interconnection. Multimodal design also involves

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

changing the reader's route. A page can be organized as a sequential narrative, a montage of fragments, a map, an archive, or an interface. In this case, the reader not only perceives information, but also constructs the order in which it is read. A prime example is Jonathan Safran Foer's novel *Tree of Codes*, in which cut-out page fragments form a special material-textual structure. The reader simultaneously interacts with the literary text and the physical construction of the book, and the reading process itself acquires a tactile and interactive character [3]. The Abra project combines a hand-made art book with an iPad app and allows the reader to interact with the form and content in a dynamic way [4]. In this case, the digital component does not simply duplicate the printed text, but extends it, creating a system of transitions between the material and electronic environments. Research on expanded books emphasizes the need for a special design process in which the printed form, multimedia links, and user behavior are considered as a single system [5].

In an intermedia publication, the reader becomes an active participant in communication. He can touch the surface, change the viewing order, reveal hidden elements, use a digital device, or correlate different media layers. Therefore, the designer must design not only the page, but also the interaction scenario. The main principles of intermedia book design include: 1. Semantic relevance – each media and material component must be related to the content; 2. Media coherence – text, images, typography, material, and digital elements must work as a holistic system; 3. Attention management – the composition should determine the sequence and nature of perception; 4. Clear interaction – the reader must understand how to use non-standard elements of the publication; 5. Technological validity – the selected materials and technologies must correspond to the budget, circulation, durability and accessibility; 6. Balance of analog and digital – the digital environment should expand the capabilities of the book, not level its material specificity.

In digital art book projects, it is important to combine the semiotic analysis of visible, readable, and manipulated forms with the study of reception and prototyping practices. Intermedia approaches significantly expand the possibilities of book design and media content. A book can function simultaneously as a text, a graphic composition, a material object

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

and a digital interface. In such a system, material, form, and technology are not separated from the content, but participate in its creation.

The most productive is not the mechanical combination of different media, but their functional interaction. Tactility can enhance the emotional effect, typography - simulate voice or movement, construction – change the logic of reading, and digital elements – open up additional levels of interaction. Thus, intermedia design transforms content from a passive information carrier into a comprehensive and practical reading product.

References

1. Bober, M., Kavanagh, E., Yuan, H., & Frohlich, D. M. (2021). Designing for the next generation of augmented books. *Journal of Design Research*, 19(1–3), 200–225. <https://doi.org/10.1504/jdr.2021.10041110>
2. Borsuk, A., Durbin, K., & Hatcher, I. (2016). Abra: Expanding artists' books into the digital realm. *Gramma: Journal of Theory and Criticism*, 23, 73–86. <https://doi.org/10.26262/gramma.v23i0.5407>
3. Jones, P. (2011). Looking through, looking into and looking at the book: The materiality of message and medium. *The Book Review*, 1(2), 255–268. https://doi.org/10.1386/btwo.1.2.255_1
4. Rapatzikou, T. G. (2017). Jonathan Safran Foer's *Tree of Codes*: Book design and digital sculpturing. *Borders, Materiality, Translation*, 1, 41–52. <https://doi.org/10.13154/bmt.1.2016.41-52>
5. Vieira, E. V. C. (2022). Embroidered illustrations: Paratextuality and book design with textile arts. *Lublin Studies in Modern Languages and Literature*, 46(3), 15–24. <https://doi.org/10.17951/lsmll.2022.46.3.15-24>.

УДК 37.091.3:004.8

ROLE-ORIENTED DESIGN PRINCIPLES FOR A TEACHER- CONTROLLED MULTI-AGENT WORKFLOW FOR DIFFERENTIATED LEARNING MATERIALS

V. Dukova^[0009-0008-8833-8730]

Technical University of Varna, Bulgaria

EMAIL: v.dukova@gmail.com

**РОЛЬОВІ ПРИНЦИПИ ПРОЄКТУВАННЯ КЕРОВАНОГО
ВЧИТЕЛЕМ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПРОЦЕСУ СТВОРЕННЯ
ДИФЕРЕНЦІЙОВАНИХ НАВЧАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ**

В. Дукова

Технічний університет Варни, Болгарія

Анотація. У тезах запропоновано рольові принципи проєктування керованого вчителем мультиагентного процесу створення диференційованих навчальних матеріалів. Підхід розподіляє аналіз цілей, моделювання профілів учнів, проєктування діяльності, диференціацію та перевірку між окремими ролями. Наголошено на мінімізації даних, простежуваності рішень і обов'язковому педагогічному схваленні кінцевого матеріалу.

Ключові слова: мультиагентні системи, диференційоване навчання, проєктування навчання, великі мовні моделі, контроль учителя, освітній штучний інтелект.

Abstract. This thesis proposes role-oriented design principles for a teacher-controlled multi-agent workflow that creates differentiated learning materials. The approach distributes objective analysis, learner profiling, activity design, differentiation, and review across distinct roles. It emphasizes data minimization, traceable decisions, and mandatory pedagogical approval of the final material.

Keywords: multi-agent systems, differentiated instruction, instructional design, large language models, teacher-in-the-loop, educational artificial intelligence.

Introduction

The educational use of large language models is moving from one-step text generation toward workflows in which several role-defined agents contribute to planning, adaptation, and review. Research identifies applications in instructional design and teacher support, together with unresolved issues of reliability, privacy, and fairness [1]. The central design problem is how responsibilities, information access, and human authority are distributed.

Proposed role-oriented workflow

A teacher-controlled workflow can separate six pedagogical functions: (1) clarification of the learning objective and expected outcomes; (2) construction of non-clinical learner profiles based on prior knowledge and support needs; (3) design of the core learning activity; (4) creation of

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

differentiated variants; (5) pedagogical critique of clarity, coherence, feasibility, and alignment; and (6) factual and ethical review. The roles may be implemented as separate software agents or as a simulated sequence of prompts with the same model. The contribution lies in the explicit workflow, not in assuming that multiple calls automatically improve quality.

Recent systems support this decomposition. Wang et al. distribute design among agents that apply learning-science knowledge and critique activities [2]. EduPlanner combines evaluator, optimizer, and analyzer roles to revise personalized plans and anticipate difficulties [3]. Pedagogical value thus comes from staged analysis and revision, not fluent generation alone.

Design principles

Four principles guide implementation. First, each role needs a narrow mandate, explicit inputs, and an observable output so unsuitable decisions can be traced. Second, context must be transferred selectively: a differentiation role needs pedagogical information, not automatically personally identifying records. Third, critique must be separated from generation and apply stated criteria. Fourth, the teacher must approve the objective, learner assumptions, and final material.

Teacher control is essential for differentiation. FACET coordinates learner simulation, diagnosis, material generation, and evaluation while preserving professional judgment [4]. Simulated profiles can reveal a dense or insufficiently scaffolded task, but must not be treated as clinical diagnoses or definitive representations of learners.

Discussion and conclusion

Role-oriented orchestration is a practical middle position between a single chatbot and full autonomy. It makes instructional design visible and creates checkpoints for revision. Limitations remain: agents may share the same model and knowledge gaps, errors may propagate, and the workflow may require more teacher time.

Multi-agent generation should therefore be selective. Routine drafting may not justify it, whereas differentiated and inclusive activities can benefit from specialized roles. Future studies should compare configurations across subjects, record teacher revisions, and examine classroom outcomes. The proposed principles provide a transparent foundation while preserving the teacher's authority.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

References

1. Chu, Z., Wang, S., Xie, J., Zhu, T., Yan, Y., Ye, J., Zhong, A., Hu, X., Liang, J., Yu, P. S., & Wen, Q. (2025). LLM agents for education: Advances and applications. Findings of the Association for Computational Linguistics: EMNLP 2025, 13782–13810. <https://doi.org/10.18653/v1/2025.findings-emnlp.743>
2. Wang, J., Xiao, R., Hou, X., & Stamper, J. (2025). Enabling multi-agent systems as learning designers: Applying learning sciences to AI instructional design. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2508.16659>
3. Zhang, X., Zhang, C., Sun, J., Xiao, J., Yang, Y., & Luo, Y. (2025). EduPlanner: LLM-based multi-agent systems for customized and intelligent instructional design. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2504.05370>
4. Gonnermann-Müller, J., Haase, J., Leins, N., Igel, M., Fackeldey, K., & Pokutta, S. (2026). FACET: Multi-agent AI supporting teachers in scaling differentiated learning for diverse students. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2601.22788>

УДК 004

**RESEARCH ON THE IMPACT OF RAG SYSTEM
CONFIGURATION ON THE QUALITY OF LARGE LANGUAGE
MODEL RESPONSES**

**I. Bannick^{1[0009-0002-4823-8782]}, Ph.D., N. Rudnichenko^{2[0000-0002-7343-8076]},
Dr.Sci., I. Petrov^{3[0000-0002-8740-6198]}**

¹Interregional Academy of Human Resource Management, Ukraine,

²Odessa Polytechnic National University, Ukraine,

³Odessa Maritime Academy National University, Ukraine

EMAIL: ¹bannikivan@gmail, ²comnickolay.rud@gmail.com, ³firmless@gmail.com

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНФІГУРАЦІЇ RAG-СИСТЕМ НА
ЯКІСТЬ ВІДПОВІДЕЙ ВЕЛИКИХ МОВНИХ МОДЕЛЕЙ**

І. Банник¹, Ph.D., М. Рудніченко², Dr.Sci., І. Петров³

¹Міжрегіональна академія управління персоналом, Україна,

²Національний університет «Одеська політехніка», Україна,

²Національний університет «Одеська морська академія», Україна

***Анотація.** Досліджено підходи до побудови систем генерації з доповненим пошуком (RAG) та запропоновано методику оцінювання впливу параметрів пошукового конвеєра на якість відповідей великих мовних моделей.*

***Ключові слова:** великі мовні моделі, RAG, векторний пошук, інформаційний пошук, генерація тексту.*

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Abstract. *The paper investigates approaches to building RAG systems and proposes a methodology for evaluating the influence of retrieval pipeline parameters on the quality of large language model responses.*

Keywords: *large language models, RAG, vector search, information retrieval, text generation.*

Вступ. Великі мовні моделі (LLM) демонструють високі результати в задачах обробки природної мови, однак використання лише знань, закладених у параметрах моделі, обмежує можливість роботи з актуальними та спеціалізованими даними. Одним із підходів до вирішення цієї проблеми є Retrieval-Augmented Generation (RAG), що поєднує генеративну модель із зовнішньою базою знань та механізмом інформаційного пошуку [1]. Якість RAG-системи залежить не лише від використаної мовної моделі, а й від способу підготовки документів, розміру текстових фрагментів, моделі векторних представлень, алгоритму пошуку, кількості відібраних фрагментів та їх повторного ранжування [2].

Метою роботи є дослідження впливу параметрів RAG-конвеєра на якість пошуку релевантної інформації та формування відповідей LLM.

Для проведення дослідження пропонується створення експериментального програмного стенду з модульною архітектурою. Текстові документи поділяються на фрагменти, для яких за допомогою embedding-моделі формуються векторні представлення. Отримані вектори разом із текстом документів зберігаються у векторному сховищі. Під час обробки запиту система виконує пошук найбільш семантично близьких фрагментів та передає їх LLM як додатковий контекст. Використання щільних векторних представлень дозволяє знаходити релевантну інформацію навіть за відсутності прямого збігу ключових слів [2]. Експериментальний стенд передбачає незалежну зміну основних параметрів RAG-системи: розміру текстового фрагмента, величини перекриття між фрагментами, embedding-моделі, кількості відібраних документів *top-k* та використання повторного ранжування. Оцінювання пропонується виконувати окремо для пошукової та генеративної частин системи. Для retrieval-компонента можуть використовуватися метрики Precision@k, Recall@k та Mean

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Reciprocal Rank. Якість генерації оцінюється за відповідністю відповіді поставленому запитанню та ступенем її підтвердження отриманим контекстом. Для автоматизації такого оцінювання може використовуватися підхід RAGAS [3].

Таким чином, проведення серії експериментів із контрольованою зміною параметрів дозволяє визначити їх вплив на кінцеву якість роботи RAG-системи та встановити конфігурації, найбільш ефективні для конкретного типу документів і запитів.

Висновки. Ефективність RAG-систем значною мірою визначається параметрами підготовки документів та інформаційного пошуку. Запропонований експериментальний стенд дозволяє систематично досліджувати вплив цих параметрів та порівнювати різні конфігурації за єдиною методикою оцінювання.

Література

1. Lewis P. Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks / P. Lewis, E. Perez, A. Piktus et al. // *Advances in Neural Information Processing Systems*. – 2020. – Vol. 33. – P. 9459–9474.
2. Karpukhin V. Dense Passage Retrieval for Open-Domain Question Answering / V. Karpukhin, B. Oğuz, S. Min et al. // *Proceedings of the 2020 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*. – 2020. – P. 6769–6781.
3. Es S. RAGAs: Automated Evaluation of Retrieval Augmented Generation / S. Es, J. James, L. Espinosa-Anke, S. Schockaert // *Proceedings of the 18th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics: System Demonstrations*. – 2024. – P. 150–158.

УДК 004.89

ANALYSIS OF SYNTHESIS METHODS FOR ADAPTIVE ARCHITECTURE OF INTELLIGENT AGENTS FOR AUTOMATED CONTROL OF RECOGNITION PROCESSES

A. Zlenskyi^[0009-0008-9784-2963]

Odessa Polytechnic National University, Ukraine
EMAIL: zlenskyandrey@gmail.com

АНАЛІЗ МЕТОДІВ СИНТЕЗУ АДАПТИВНОЇ АРХІТЕКТУРИ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ АГЕНТІВ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО
КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСАМИ РОЗПІЗНАВАННЯ

А.Зленський

Національний університет «Одеська політехніка», Україна

Анотація. Проаналізовано методи синтезу адаптивної архітектури інтелектуальних агентів для автоматизованого керування процесами розпізнавання в умовах динамічного середовища. Розглянуто модульний підхід до побудови агента, що поєднує сприйняття, прийняття рішень та самоадаптацію структури на основі нейроеволюції й навчання з підкріпленням. Показано, що комбінований синтез архітектури підвищує точність і швидкість адаптації агента порівняно зі статичними рішеннями.

Ключові слова: інтелектуальні агенти, адаптивна архітектура, розпізнавання образів, синтез архітектури, нейроеволюція, навчання з підкріпленням

Abstract. Methods for synthesizing an adaptive architecture of intelligent agents for automated control of recognition processes in a dynamic environment are analyzed. A modular agent design combining perception, decision-making, and structural self-adaptation based on neuroevolution and reinforcement learning is considered. The combined architecture synthesis is shown to improve the agent's recognition accuracy and adaptation speed compared to static solutions.

Keywords: intelligent agents, adaptive architecture, pattern recognition, architecture synthesis, neuroevolution, reinforcement learning

У сучасних системах автоматизованого керування процесами розпізнавання (образів, мовлення, сенсорних даних) зростає складність і мінливість вхідних потоків інформації, що обумовлює необхідність застосування інтелектуальних агентів, здатних самостійно адаптувати власну архітектуру до умов експлуатації [1]. Традиційні агентні системи зі статичною структурою демонструють недостатню гнучкість при зміні режимів роботи, появі нових класів об'єктів розпізнавання або зміні характеристик середовища. У зв'язку з цим актуальним є аналіз та систематизація методів синтезу адаптивної архітектури інтелектуальних агентів, орієнтованих на задачі автоматизованого керування процесами розпізнавання.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

У запропонованій концепції адаптивна архітектура інтелектуального агента будується за модульним принципом, що дозволяє незалежно синтезувати та реконфігурувати окремі функціональні блоки: модуль сприйняття, що забезпечує первинну обробку та класифікацію вхідних даних розпізнавання на основі згорткових і рекурентних нейромережових структур; модуль прийняття рішень, реалізований на принципах навчання з підкріпленням [2], що формує стратегію керування процесом розпізнавання відповідно до поточного стану середовища; модуль самоадаптації, який здійснює автоматичний пошук та коригування архітектури агента (методи нейроevolюції та пошуку архітектур - Neural Architecture Search) залежно від показників якості розпізнавання [3]; модуль координації, що забезпечує узгоджену взаємодію групи агентів у розподілених системах керування розпізнаванням. У межах дослідження проведено порівняльний аналіз методів синтезу адаптивної архітектури - еволюційних алгоритмів, градієнтного пошуку архітектур та підходів на основі навчання з підкріпленням - на прикладі задач автоматизованого розпізнавання зображень і сигналів. Результати показали, що застосування комбінованого підходу (нейроеволюція у поєднанні з навчанням з підкріпленням для адаптації параметрів модуля прийняття рішень) дозволяє скоротити час адаптації архітектури агента до нових умов на 15–20% та підвищити точність розпізнавання на 6–11% порівняно зі статичними агентними архітектурами. Проведений аналіз методів синтезу адаптивної архітектури інтелектуальних агентів підтверджує їх ефективність для задач автоматизованого керування процесами розпізнавання в умовах динамічного середовища. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розроблення уніфікованих критеріїв оцінювання адаптивності агентних архітектур та їх інтеграцію в розподілені системи розпізнавання реального часу.

Література

1. Wooldridge, M., & Jennings, N. R. (1995). Intelligent agents: Theory and practice. The Knowledge Engineering Review, 10(2), 115–152.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

2. Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). Reinforcement learning: An introduction. MIT Press.
3. Elsken, T., Metzen, J. H., & Hutter, F. (2019). Neural architecture search: A survey. Journal of Machine Learning Research, 20, 1–21.

УДК 004.4

**HYBRID DEEP LEARNING MODELS OPTIMIZATION
CONSTRUCTION PROCESS CONCEPT FOR FINANCIAL
FORECASTING TASKS**

Ph.D., N. Rudnichenko^{1[0000-0002-7343-8076]}, **D. Shvedov**^{2[0009-0002-4823-8782]},
Ph.D., T. Otradska^{3[0000-0002-5808-5647]}

Odessa Polytechnic National University, Ukraine
EMAIL: ¹nickolay.rud@gmail.com, ²butgeorg@gmail.com, ³tv64@ukr.net

**КОНЦЕПЦІЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ПОБУДОВИ
ГІБРИДНИХ МОДЕЛЕЙ ГЛИБИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ
ФІНАНСОВИХ ПРОГНОСТИЧНИХ ЗАВДАНЬ**

Ph.D., М. Рудніченко, Д. Шведов, Ph.D., Т. Отрадська
Національний університет «Одеська політехніка», Україна

***Аннотація.** Запропоновано концепцію оптимізації процесу побудови гібридної моделі глибинного навчання для фінансових прогностичних завдань, що інтегрує ройову оптимізацію, нечіткий інтелект, генетичні алгоритми та моделі BiLSTM і Transformer.*

***Ключові слова:** гібридне навчання, фінансове прогнозування*

***Abstract.** An concept for optimizing of hybrid deep learning models for financial forecasting is proposed by particle swarm optimization, fuzzy intelligence, genetic algorithms, and BiLSTM and Transformer models.*

***Keywords:** hybrid learning, financial forecasting*

Вступ. Стрімке зростання обсягів фінансових даних, висока волатильність ринків та нелінійний характер взаємозв'язків між економічними показниками суттєво ускладнюють побудову моделей прогнозування [1]. Використання окремих моделей глибинного навчання (ГН) не забезпечує достатньої стійкості до шумів, структурних змін часових рядів та надлишковості ознак [2].

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Перспективним напрямом є створення гібридних архітектур, у яких поєднуються методи обчислювального інтелекту, здатні взаємно компенсувати недоліки один одного [3]. Особливої актуальності набуває автоматизована оптимізація всього циклу побудови моделі, починаючи від відбору ознак і завершуючи формуванням фінального прогнозу шляхом ансамблювання моделей ГН. Метою роботи є розроблення концепції оптимізації процесу побудови гібридної моделі глибинного навчання для фінансових прогностичних завдань на основі інтеграції підходів обчислювального інтелекту та стекінгу нейромережових моделей. Запропонована концепція складається з п'яти взаємопов'язаних етапів. На першому етапі здійснюється комплексна підготовка фінансових часових рядів із синхронізацією різномірних джерел даних, усуненням пропусків, нормалізацією та формуванням ковзних часових вікон. Додатково обчислюються технічні індикатори, показники волатильності, логарифмічні доходності та статистичні характеристики локальних трендів.

Другий етап реалізує інтелектуальний відбір ознак за допомогою алгоритму рою частинок, який оптимізує підмножину вхідних параметрів за критерієм мінімізації функції втрат моделі прогнозування. Кожна частинка кодує можливу комбінацію ознак, а її положення оновлюється відповідно до глобального та локального оптимумів, що дозволяє скоротити розмірність простору ознак без втрати інформативності.

На третьому етапі використовується нечітка нейро-фаззі система типу ANFIS для адаптивної оцінки ринкових режимів. На основі нечітких правил визначаються рівні ризику, інтенсивність тренду та ступінь невизначеності, після чого формується додатковий набір латентних ознак, який передається до моделей глибинного навчання. Такий механізм забезпечує семантичне узагальнення фінансових закономірностей і підвищує стійкість до локальних аномалій.

Четвертий етап передбачає паралельне навчання двох моделей ГН. Перша модель BiLSTM виконує моделювання довгострокових часових залежностей у фінансових рядах. Друга модель Transformer із механізмом багатоголової уваги аналізує глобальні нелінійні взаємозв'язки між часовими інтервалами та виявляє приховані

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

закономірності. Для кожної моделі генеруються незалежні прогнози, які доповнюються оцінками довіри.

На завершальному етапі реалізується стекінг прогнозів. Як метамодель використовується градієнтний бустинг, який отримує прогнозні значення BiLSTM, Transformer, нечіткі оцінки ризику та додаткові статистичні характеристики похибок базових моделей. Параметри метамоделі оптимізуються генетичним алгоритмом, який виконує глобальний пошук найкращої конфігурації гіперпараметрів, мінімізуючи значення функції RMSE та запобігаючи перенаванчання. Таким чином поєднуються три різні підходи обчислювального інтелекту, а саме ройова оптимізація, нечіткий інтелект та еволюційна оптимізація, із двома моделями ГН в єдиній багаторівневій архітектурі. Концепція відповідає сучасним тенденціям розвитку гібридних моделей фінансового прогнозування.

Експериментальна перевірка концепції виконувалася на фінансових часових рядах із використанням покрокової часової валідації. Порівняно з окремими моделями BiLSTM та Transformer запропонована архітектура забезпечила зменшення RMSE приблизно на 11–15 %, MAE на 9–12 %, підвищення коефіцієнта детермінації R^2 до 0,95 та скорочення кількості нестійких прогнозів під час різких ринкових коливань.

Висновки. Отримані результати підтверджують доцільність використання комплексної оптимізації процесу побудови гібридних моделей ГН для фінансових прогностичних завдань. Запропонована концепція забезпечує підвищення точності прогнозування, може бути використана як основа для створення інтелектуальних систем підтримки фінансових рішень.

Література

1. Chen X., Liu J., Wu C. Multi-class financial distress prediction based on hybrid feature selection and improved stacking ensemble model / X. Chen, J. Liu, C. Wu // Expert Systems with Applications. – 2025. – Vol. 271. – P.23-30.
2. Balakrishnan S. Improving Financial Forecasting Accuracy Through Swarm Optimization-Enhanced Deep Learning Models / S. Balakrishnan, Y. Srinivasa

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

- Rao, K. R. Reddy, J. V. N. Ramesh та ін. // International Journal of Advanced Computer Science and Applications. – 2025. – № 16(3). – P.145-156.
3. Рудніченко М.Д. Гібридна модель аналізу мультимодальних даних на базі інтелектуальних агентів для оцінки інвестиційних ризиків у високоволатильні активи / М. Д. Рудніченко, Д. В. Шведов, Н. О. Шибасва, Т. В. Кунуп, І. М. Петров // Інформатика та математичні методи в моделюванні. – 2026. – Vol. 16. – № 2. – С.400-413.

УДК 004

**APPROACHES TO HYBRIDIZING DEEP LEARNING MODEL
PROCESSES FOR FINANCIAL RISK ASSESSMENTS**

D. Shvedov [0009-0002-4823-8782]

Odessa Polytechnic National University, Ukraine
EMAIL: nickolay.rud@gmail.com

**ПІДХОДИ ГІБРИДИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ПОБУДОВИ МОДЕЛЕЙ
ГЛИБИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ОЦІНОК ФІНАНСОВИХ
РИЗИКІВ**

Д. Шведов

Національний університет «Одеська політехніка», Україна

Анотація. Досліджено можливості інтеграції фізично поінформованих та ймовірнісних підходів при побудові гібридних моделей глибинного навчання для оцінки фінансових ризиків.

Ключові слова: оцінка ризиків, ймовірнісне моделювання

Abstract. The paper investigates the integration of physics-informed and probabilistic approaches into hybrid deep learning models for financial risk assessment.

Keywords: risk assessment, probabilistic modeling

Вступ. Зростання складності сучасних фінансових систем супроводжується підвищенням рівня невизначеності, появою нелінійних залежностей та частими структурними змінами ринкового середовища. За таких умов традиційні моделі глибинного навчання (ГН) демонструють високу чутливість до якості навчальної вибірки та недостатньо враховують апріорні закономірності функціонування

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

фінансових процесів [1]. Одним із перспективних напрямів розвитку інтелектуальних систем оцінювання ризиків є поєднання фізично поінформованих моделей, що дозволяють інтегрувати фундаментальні економічні обмеження у процес навчання, із ймовірнісними методами, здатними формалізувати невизначеність прогнозів [2].

Метою роботи є аналіз підходів побудови гібридних моделей ГН для оцінювання фінансових ризиків на основі інтеграції фізично поінформованих і ймовірнісних підходів та визначення оптимальної архітектури їх спільного використання.

Запропонована концепція базується на багаторівневій схемі гібридизації процесу навчання. Початковий етап передбачає підготовку фінансових часових рядів, усунення пропусків, нормалізацію даних, формування ковзних часових вікон та обчислення індикаторів ринкової активності, волатильності, ліквідності й дохідності активів. Після цього формується система фізично поінформованих обмежень, яка відображає фундаментальні фінансові закономірності. До функції втрат моделі вводяться штрафні складові, що контролюють виконання економічно обґрунтованих співвідношень, зокрема невід'ємності ризикових показників, узгодженості часової динаміки волатильності, обмеження різких стрибків прогнозної функції та збереження довгострокових тенденцій розвитку фінансового процесу [3].

Наступний рівень реалізує ймовірнісне моделювання невизначеності. Для цього використовується байєсівська нейронна мережа, у якій вагові коефіцієнти описуються апіорними розподілами й уточнюються під час навчання методом варіаційного наближення [2]. На виході моделі формується оцінка фінансового ризику та довірчий інтервал прогнозу, що дозволяє оцінити рівень невизначеності для кожного рішення. Для підвищення стійкості прогнозування результати байєсівської моделі комбінуються зі стекінговою архітектурою, у якій базовими моделями виступають Temporal Convolutional Network та Transformer. Перша модель аналізує локальні часові закономірності фінансових рядів, тоді як друга досліджує глобальні довгострокові залежності за допомогою механізму багатоголової уваги. Фінальне інтегрування прогнозів виконується метамоделлю, яка враховує як

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

числові оцінки ризику, так і їхню апостеріорну невизначеність, забезпечуючи адаптивне визначення ваг кожної базової моделі.

Висновки. Проведений аналіз підтверджує доцільність комплексної інтеграції фізично поінформованих і ймовірнісних підходів у процес побудови моделей ГН для оцінювання фінансових ризиків. Поєднання економічно обґрунтованих обмежень із байєсівським описом невизначеності забезпечує підвищення достовірності прогнозів, покращує інтерпретованість результатів.

Література

1. Karniadakis G.E. Physics-informed machine learning / G.E. Karniadakis, I.G. Kevrekidis, L. Lu, P. Perdikaris, S. Wang, L. Yang // Nature Reviews Physics. – 2021. – Vol. 3. – № 6. – PP. 422–440.
2. Jospin L.V. Hands-on Bayesian Neural Networks – A Tutorial for Deep Learning Users / L.V. Jospin, H. Laga, F. Boussaid, W. Buntine, M. Bennamoun // IEEE Computational Intelligence Magazine. – 2022. – Vol. 17. – № 2. – PP. 29–48.
3. Рудніченко М. Метод багатовимірної оцінки фінансових ризиків на основі гібридного глибинного навчання / М. Рудніченко, Д. Шведов // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences. – 2026. – №365(3). – С.331-338.

УДК 004.93:551.46

CONCEPT OF CAMERA AND SONAR DATA ALIGNMENT FOR UNDERWATER OBJECT RECOGNITION

K. Shumeiko ^[0009-0002-1523-9789]

Odessa Polytechnic National University, Ukraine

EMAIL: kshumeyko@gmail.com

КОНЦЕПЦІЯ УЗГОДЖЕННЯ ДАНИХ КАМЕРИ ТА СОНАРА ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ПІДВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

К. Шумейко

Національний університет «Одеська політехніка», Україна

***Анотація.** Розглянуто проблему узгодження даних камери та сонара для мультимодального розпізнавання підводних об'єктів. Проаналізовано основні*

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

рівні узгодження, обґрунтовано необхідність спільного застосування синхронізації, зовнішньої калібровки, нормалізації масштабу та уніфікації ознакового представлення. Запропоновано комбіновану схему, що забезпечує підвищення стійкості розпізнавання підводних об'єктів.

Ключові слова: *розпізнавання підводних об'єктів, камера, сонар*

Abstract. *The problem of aligning camera and sonar data for multimodal underwater object recognition is considered. The main levels of alignment are analyzed, and the need for the joint application of synchronization, extrinsic calibration, scale normalization, and feature representation unification is substantiated. A combined scheme is proposed that improves the robustness of underwater object recognition.*

Keywords: *underwater object recognition, camera, sonar, data alignment*

Розпізнавання підводних об'єктів є важливим завданням для автономних підводних апаратів, робототехнічних систем, моніторингу морського середовища, обстеження дна та контролю підводної інфраструктури. У підводних умовах один сенсор рідко забезпечує достатню повноту інформації. Тому перспективним напрямом є спільне використання оптичних і гідроакустичних даних.

Сучасні дослідження показують, що об'єднання оптичних і сонарних зображень може підвищити інформативність підводного спостереження. Для цього використовуються методи геометричної калібровки, перетворення зображень, покращення якості оптичного та гідроакустичного каналів, а також подальшого накладання або об'єднання даних у спільній системі координат [1]. Одним із ключових завдань є зовнішня калібровка камери та сонара. Для камери характерна перспективна проєкція, а для сонара - акустичне вимірювання дальності та кута [2]. Навчання та перевірка мультимодальних моделей виконується за допомогою пари зображень камери та сонара. Через просторове неспівпадіння RGB-зображення та сонарного зображення застосовуються механізми cross-attention, які дають змогу враховувати зв'язки між візуальними й акустичними ознаками навіть за неповного збігу об'єктів у двох модальностях [3].

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Мета роботи полягає у обґрунтуванні комбінованого підходу до узгодження даних камери та сонара для підвищення стійкості розпізнавання підводних об'єктів.

Узгодження даних камери та сонара має виконуватися як багатоетапний процес. Перший рівень - часове узгодження. Воно передбачає, що кадр камери та кадр сонара мають належати до одного моменту спостереження або до достатньо близьких моментів часу. Другий рівень - координатне узгодження або взаємне положення камери та сонара на платформі. Таким чином щоб точка або область, яку спостерігає один сенсор, може бути перенесена в систему координат іншого сенсора. Третій рівень - узгодження масштабу. Зображення камери та сонара зображення можуть мати різний розмір, роздільну здатність. Тому дані необхідно приводити до зіставного масштабу. Це може виконуватися через нормалізацію розміру області інтересу. Четвертий рівень - узгодження формату ознак. У цьому випадку для камери та сонара можуть використовуватися окремі гілки обробки. Камерна гілка виділяє візуальні ознаки, наприклад контури, текстуру та семантичні області. Сонарна гілка виділяє акустичні ознаки: дальність, інтенсивність відбиття, форму акустичної плями та тінь.

Висновки. Як основне рішення пропонується використовувати комбінований підхід, що включає часову синхронізацію, зовнішню калібровку, перетворення координат, нормалізацію масштабу та об'єднання ознак на рівні ознакових карт або рішень. Такий підхід є стійкішим, ніж пряме накладання зображень.

Література

1. Kim, H.-G., Seo, J., & Kim, S. M. Underwater optical-sonar image fusion systems. *Sensors*, 2022, 22(21), 8445.
2. Yang, D., He, B., Zhu, M., & Liu, J. An extrinsic calibration method with closed-form solution for underwater opti-acoustic imaging system. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2020, 69(9), 6828–6842.
3. Li, Y., Wang, B., Sun, J., Wu, X., & Li, Y. RGB-sonar tracking benchmark and spatial cross-attention transformer tracker. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2025, 35(3), 2260–2275.

УДК 004.65:519.816

INTEGRAL ASSESSMENT OF INFORMATION SYSTEMS DATA QUALITY BASED ON THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS

D. Bilousov^{1 0009-0004-9627-29471}

Odessa Polytechnic National University, Ukraine

EMAIL: beloysov.denis.05@gmail.com

ІНТЕГРАЛЬНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ДАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ МЕТОДУ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ

Д. Білоусов

Національний університет «Одеська політехніка», Україна

***Анотація.** Запропоновано методику інтегрального оцінювання якості даних інформаційної системи, яка поєднує показники повноти, унікальності та узгодженості записів із методом аналізу ієрархій для визначення їхньої відносної ваги; методику перевірено на реальному наборі різнорідних даних.*

***Ключові слова:** якість даних, метод аналізу ієрархій.*

***Abstract.** An integral method for assessing information system data quality is proposed, combining completeness, uniqueness and consistency indicators of records with the analytic hierarchy process for determining their relative weight; the method is validated on a real heterogeneous dataset.*

***Keywords:** data quality, analytic hierarchy process.*

Ефективне використання інформаційних систем, що інтегрують дані з кількох незалежних джерел, залежить від якості цих даних. Якість даних багатовимірна: Р. Ванг і Д. Стронг відносять до її складових повноту, точність і узгодженість подання [1], а в задачах інтеграції даних критичного значення набуває також унікальність, тобто відсутність дублікатів одного об'єкта [2]. Ці складові нерідко суперечать одна одній, тому їх зведення до єдиної оцінки вимагає методу визначення відносної важливості кожної. Метод аналізу ієрархій Т. Сааті розв'язує це завдання через попарні порівняння критеріїв [3]. Для інтегральної оцінки якості даних обрано три критерії: повноту і узгодженість запозичено з класифікації Ванга і Стронга [1], а унікальність додано за підходом, поширеним у літературі з інтеграції

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

даних [2]. Матеріалом для перевірки методики слугував набір даних Fodors-Zagats: 533 записи з довідника Fodor's та 331 запис із довідника Zagat's з атрибутами назви, адреси, міста, телефону та типу кухні [4]. Це усталений у дослідженнях зі зв'язування записів бенчмарк, каталогізований в ICPSR разом із перевіреним відповідником, що охоплює 112 пар записів про той самий ресторан [5].

Аналіз об'єднаної таблиці з 864 записів показав повноту 99,88 відсотка: тип кухні бракує в одному-єдиному записі («katias»), відповідника якого в другому джерелі немає. Узгодженість телефонів виявилася значно нижчою: формату «ddd-ddd-ddd» природно відповідають тільки записи Zagat's, усі 533 записи Fodor's подані через похилу риску «ddd/ddd-ddd», а 17 значень містять помилки набору, тому єдиного формату дотримано лише в 38,31 відсотка записів. Нормалізація піднімає цей показник до 99,88 відсотка; неоправним залишається номер закладу «dive!», обрізаний ще в джерелі. Неузгодженими виявились і назви міст: із 112 пар-дублікатів 52 називають те саме місто по-різному («los angeles» проти «w. hollywood», «new york» проти «new york city»), тож блокування за точним збігом міста відкинуло б майже половину відповідників.

Для гою 0,7 для назви й 0,4 для адреси; усі 533 на 331, тобто 176 423 пари, без блокування. За порогу 0,87 досягнуто точності 1,000 і повноти 0,929, F1 склав 0,963 щодо 112 еталонних пар: 104 виявлено правильно, хибних об'єднань не сталося, 8 пропущено через істотні розбіжності назви й адреси. Вилучення виявлених дублікатів піднімає унікальність з 87,04 відсотка при 112 надлишкових записах зі 864 до 99,07 відсотка, коли надлишковими лишаються тільки 8.

Відносну важливість критеріїв визначено за результатами експерименту. Неузгодженість формату нормалізація усунула майже повністю, виправивши 99,88 відсотка значень, тому цій складовій відведено найменшу вагу. Дублювання записів не усувається повністю навіть налаштованим класифікатором, F1 якого зупинився на 0,963, а кожен пропущений дублікат подвоює облік того самого об'єкта в статистиці - ризик, описаний у [2], тому унікальність отримала найвищу вагу. Повнота посіла проміжне становище: одні пропуски вдається відновити через друге джерело, інші - ні.

Вектор пріоритетів, обчислений методом середнього геометричного рядків, становить: повнота 0,258, унікальність 0,637, узгодженість 0,105; звідси $\lambda_{\max} = 3,039$, $CI = 0,019$, $CR = 0,033$. Оскільки CR не перевищує 0,1, судження достатньо узгоджені, а ваги придатні для використання. Інтегральний індекс якості зростає з 85,25 до 99,37 відсотка, тобто на 14,11 відсоткового пункту, що приблизно на 16,6 відсотка більше початкового значення. Найбільший внесок у це зростання дає складова унікальності завдяки її найвищій вазі 0,637: саме дублювання записів під час об'єднання джерел становить основний ризик для аналітичного використання даних, тоді як повнота джерела була високою вже до консолідації і майже не змінилася.

Результати підтверджують застосовність методу аналізу ієрархій для побудови інтегральної оцінки якості даних, коли її складові мають різну важливість для предметної області. Метод має обмеження: ваги залежать від суб'єктивних, хоча й перевірених на узгодженість, експертних суджень, тому для іншого домену матрицю варто переглядати окремо; розглянуто три складові якості даних, тоді як ширші класифікації налічують значно більше.

Література

1. Wang R. Y. Beyond accuracy: what data quality means to data consumers / R. Y. Wang, D. M. Strong // Journal of Management Information Systems. – 1996. – Vol. 12, № 4. – PP. 5–33.
2. Elmagarmid A. K. Duplicate record detection: a survey / A. K. Elmagarmid, P. G. Ipeirotis, V. S. Verykios // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. – 2007. – Vol. 19, № 1. – PP. 1–16.
3. Saaty T. L. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. New York: McGraw-Hill, 1980. 287 p.
4. Tejada S. Learning object identification rules for information integration / S. Tejada, C. A. Knoblock, S. Minton // Information Systems. – 2001. – Vol. 26, № 8. – PP. 607–633.
5. Primpeli A. Restaurants (Fodors-Zagats), Augmented Version, Fixed Splits / A. Primpeli, C. Bizer. Ann Arbor, MI: ICPSR, 2020. <https://doi.org/10.3886/E127242V1>.

УДК 004.8:004.93:624.04(477)

**COMPARATIVE ANALYSIS OF VISION-LANGUAGE MODELS
FOR INFRASTRUCTURE DAMAGE CLASSIFICATION: A CASE
STUDY OF UKRAINE**

K. Bieljaiev^{1[0009-0001-7135-3562]}, **V. Oliinyk**^{2[0009-0000-5527-7750]},
A. Baranova^{3[0009-0005-6491-9141]}

Odesa Polytechnic National University, Ukraine
EMAIL: kirillbelyaev2921@gmail.com¹, vadimol081@gmail.com²,
anastasia.odessa10@gmail.com³

**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ЗОРУ ТА МОВИ ДЛЯ
КЛАСИФІКАЦІЇ ПОШКОДЖЕНЬ ІНФРАСТРУКТУРИ:
ДОСЛІДЖЕННЯ НА ПРИКЛАДІ УКРАЇНИ**

К. Беляєв, В. Олійник, А. Баранова

^{1,2,3} Національний університет «Одеська політехніка», Україна

Анотація. У цьому дослідженні проведено порівняльний аналіз сучасних моделей зору та мови (VLMs) та гібридного підходу комп'ютерного зору для багаторакурсного оцінювання ступеня пошкодження інфраструктури, зруйнованої внаслідок бойових дій в Україні. Розглянуто перспективи інтеграції контекстного штучного інтелекту в спеціалізовану геоінформаційну систему для підтримки інвентаризації будівельних відходів та оптимізації їх повторного використання.

Ключові слова: класифікація пошкоджень інфраструктури, Vision-Language Models, мультикурсний аналіз, семантична сегментація, будівельні відходи, штучний інтелект.

Abstract. This study presents a comparative evaluation of state-of-the-art Vision-Language Models (VLMs) and a hybrid computer vision approach for multi-view infrastructure damage classification caused by war in Ukraine. It explores the potential of integrating context-aware AI into a specialized geoinformation system to support construction waste inventory and recycling optimization.

Keywords: Infrastructure damage assessment, Vision-Language Models, multi-view image analysis, semantic segmentation, construction and demolition waste, artificial intelligence.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Вступ. Масштабні руйнування цивільної інфраструктури в Україні спричинили критичну потребу у розробці автоматизованих, надійних та масштабованих методів оцінювання структурних пошкоджень. Це має вирішальне значення для швидкої інвентаризації будівельних та демонтажних відходів (БДВ) і зменшення витрат первинних ресурсів шляхом впровадження принципів циркулярної економіки під час відбудови. Використання моделей зору та мови (Vision-Language Models, VLMs) дозволяє проводити комплексний аналіз об'єктів за кількома ракурсами, що істотно знижує невизначеність, спричинену кутами огляду або локальними перешкодами.

Основна частина. Автоматизований метод оцінювання пошкоджень інфраструктурних об'єктів за допомогою мультимодального штучного інтелекту складається з наступних етапів:

етап 1 (Input) – отримання та формування пакета мультиракурсних зображень одного об'єкта (від 2 до 8 фотографій, «до» та «після»);

етап 2 (Context-aware AI Processing) – сумісний аналіз усіх ракурсів об'єкта мультимодальною моделлю з використанням спеціалізованого промпту або гібридною мережею U-Net;

етап 3 (Decision Synthesis) – агрегація візуальних даних для визначення єдиного рівня пошкодження об'єкта за 5-бальною шкалою (від «Клас 0» – Непошкоджено до «Клас 4» – Зруйновано);

етап 4 (Validation) – валідація отриманих результатів шляхом порівняння з еталонними розмітками.

Загальна концептуальна схема робочого процесу штучного інтелекту для оцінювання пошкоджень будівель наведена на рис. 1 [1].

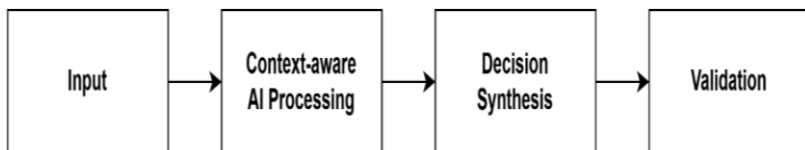


Рисунок 1. Концептуальна схема робочого процесу оцінювання пошкоджень на основі ШІ

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Для оцінки ефективності підходу було проведено експериментальне порівняння baseline-моделі семантичної сегментації U-Net (ResNet-34) та передових VLMs (Claude Sonnet 5, Gemini 3.1 Pro, Grok 4, GPT-5.5) на датасеті з 108 об'єктів інфраструктури України. Зведена таблиця результатів представлена на табл. 1.

Таблиця 1. Результати порівняльної оцінки ефективності моделей

Model	Accuracy	Precision	Recall	F1-Macro	Overesti- nation Ratio	Underesti- nation Ratio
Claude	0.639	0.674	0.639	0.639	0.176	0.185
Gemini	0.639	0.691	0.639	0.570	0.231	0.130
Grok	0.546	0.563	0.546	0.527	0.343	0.111
ChatGPT	0.537	0.550	0.537	0.515	0.315	0.148
Unet	0.407	0.424	0.407	0.348	0.398	0.194

Усі зведені результати наведені за посиланням [2].

Висновки. Дослідження виявило, що хоча комерційні VLMs забезпечують вищу точність, їх застосування обмежене високою вартістю, залежністю від інтернету та ризиками безпеки даних. Тому фокус роботи пропонується на локальні алгоритми сегментації (U-Net), які гарантують автономність, конфіденційність та інтерпретованість результатів. Запропонований підхід має значний потенціал для інтеграції в ГІС для оцінювання пошкоджень та інвентаризації відходів відбудови.

Література

1. Ivanov, O., Bielaiev, K., Oliiyyk, V. & Arsirii, O. (in press) (2026). Comparative Analysis of Vision-Language Models for Infrastructure Damage Classification: A Case Study of Ukraine. In H. Yin, G. R. Alves, Y. Kondratenko, V. Vychuzhanin, & N. Rudnichenko (Eds.), Proceedings of the International scientific and practical workshop "Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC), 2026. CEUR Workshop Proceedings. URL: <https://ceur-ws.org/>.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

2. O. Ivanov, K. Bieliaiev, V. Oliynyk, O. Arsiriy. Supplementary Material for: Comparative Analysis of Vision-Language Models for Infrastructure Damage Classification: A Case Study of Ukraine, 2026. URL: https://drive.google.com/drive/folders/1r3_nUITY1vIx_461FKUoebM4VM5OgGmW?usp=sharing.

УДК 004.8:004.93:624.04(477)

**DEEFAKE IDENTIFICATION THROUGH FEATURE SPACE
CONSTRUCTION FOR BASE AND ENSEMBLE CLASSIFIERS**

O. Andronati^[0009-0009-1794-5864]

Odesa Polytechnic National University, Ukraine

EMAIL: alex.andronati@gmail.com

**ІДЕНТИФІКАЦІЯ ДИПФЕЙКІВ ШЛЯХОМ ПОБУДОВИ
ПРОСТОРУ ОЗНАК ДЛЯ БАЗОВИХ ТА АНСАМБЛЕВИХ
КЛАСИФІКАТОРІВ**

О. Андронаті

Національний університет "Одеська Політехніка", Україна

***Анотація.** Вдосконалено підхід до побудови простору ознак при класифікації аудіо-дипфейків. Використано трирівневу модель представлення аудіо-даних та процедуру зворотного виключення ознак для визначення простору ознак кожного базового класифікатора. Ансамбль моделей базових класифікаторів KNN, CNN та XGBoost із агрегуванням soft voting дозволив досягти точності 98% на наборі даних Fake-or-Real. Результати підтверджують ефективність поєднання гетерогенних класифікаторів з побудованим простором ознак.*

***Ключові слова:** виявлення аудіо-дипфейків, ансамблеве навчання, стекінг, оптимізація простору ознак, зворотне виключення ознак.*

***Abstract.** An improved approach to feature space construction for audio deepfake classification is proposed. A three-level audio data representation model and a backward feature elimination procedure are used to determine the feature space for each base classifier. An ensemble of KNN, CNN, and XGBoost base classifiers with soft voting aggregation achieved 98% accuracy on the Fake-or-Real dataset. The results confirm the effectiveness of combining heterogeneous classifiers with the constructed feature space.*

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Keywords: *audio deepfake detection, ensemble learning, stacking, feature space optimization, backward feature elimination.*

Вступ. Стрімкий розвиток технологій глибокого навчання призвів до появи реалістичного синтезованого мовлення, відомого як аудіо-дипфейки. Згідно сучасним дослідженням люди здатні ідентифікувати підроблене аудіо лише з точністю близько 73%, що підкреслює актуальність створення надійних систем виявлення аудіо-дипфейків [1]. Традиційні методи машинного та глибокого навчання показують недостатню якість ідентифікації аудіо-дипфейків. З метою усунення недоліків базових класифікаторів, багато досліджень пропонують використання ансамблевих методів. Однак в існуючих рішеннях часто використовується єдиний набір ознак для всіх базових класифікаторів при їх подальшому ансамблюванні, що обмежує їхню ефективність [2-3]. Дана робота пропонує покращення ідентифікації дипфейків шляхом інтеграції багаторівневого представлення даних з побудовою простору ознак для кожного базового класифікатора, а також з подальшою агрегацією кожного класифікатора в ансамблі.

Методи та матеріали дослідження. Для навчання та тестування використано набір даних Fake-or-Real (FOR) [4]. Запропоновано тривірневу модель представлення аудіо-даних, в рамках якої аудіосигнал $x(t)$ представляється як:

$$R(x) = R_{\text{tab}}(x), R_{\text{img}}(x), R_{\text{seq}}(x) \quad (1)$$

де $R_{\text{tab}}(x)$ – табличні спектральні характеристики, $R_{\text{img}}(x)$ – спектрограма як зображення, $R_{\text{seq}}(x)$ – сигнал як часовий ряд.

Для аналізу набору даних FOR було розроблено шість базових класифікаторів для першого рівня представлення даних: метод опорних векторів (SVM), К-найближчих сусідів (KNN), екстремальний градієнтний бустінг (XGB), випадковий ліс (RF), логістична регресія (LR) та багатошаровий перцептрон (MLP). Для другого та третього рівнів представлення даних було розроблено згорткову нейронну мережу (CNN) та довгострокову пам'ять (LSTM) відповідно.

Для першого рівня представлення аудіо-даних здійснюється процедура зворотного виключення ознак (Backward Feature Elimination, BFE). Процес починається з повного набору ознак, далі на кожній ітерації генеруються потенційні підмножини шляхом послідовного видалення по одній ознаці. Для кожної підмножини модель тестується на відкладеному наборі з використанням метрики F1-score і визначається та ознака, видалення якої забезпечує найбільше поліпшення метрики. Процедура триває доки подальше зменшення розміру простору ознак поліпшує значення F1-score. Це дозволяє адаптувати простір ознак під конкретний базовий класифікатор. Оптимізовані таким чином класифікатори об'єднуються за допомогою ансамблевої архітектури stacking.

Результати дослідження. На першому етапі оцінено вплив процедури BFE на базові класифікатори. Початкова кількість ознак для табличного представлення даних 32. Після застосування BFE простір ознак було зменшено до наступної кількості ознак для кожного класифікатора: SVM (22), MLP (28), XGBoost (28), RF(31), KNN (30), LR (26). Результати свідчать, що оптимізація ознак покращує F1-Score: SVM (+3.6%), MLP (+3.4%), XGB (+5%), RF(+2.3%), KNN (+5%), LR(+3.1%). На другому етапі проведено порівняння ансамблевих моделей. Найкращий результат щодо ідентифікації дипфейків отримав ансамбль, що складається з KNN, CNN та XGB. Він досяг F1-score = 98%, що на 3,8% вище за показники найкращого базового класифікатора в його складі.

Висновки. Запропонований підхід, що поєднує багаторівневе представлення даних, оптимізацію простору ознак та ансамблеве навчання, продемонстрував високу ефективність у виявленні аудіо-дипфейків та є перспективним напрямком досліджень.

Література

1. Zhang, B., Cui, H., Nguyen, V., & Whitty, M. (2025). Audio Deepfake Detection: What Has Been Achieved and What Lies Ahead. *Sensors*, 25(7), 1989. <https://doi.org/10.3390/s25071989>

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

2. Maldonado, S. & Weber, R. "A wrapper method for feature selection using Support Vector Machines". Information Sciences. 2009; 179 (13): 2208 2217. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2009.02.014>
3. Khanjani Z., Watson G., Janeja V.P. (2023). Audio Deepfakes: A Survey. Frontiers in Big Data, 6, 1001063. <https://doi.org/10.3389/fdata.2022.1001063>
4. Abdeldayem, M. (2023). The Fake-or-Real (FoR) dataset [Dataset]. Kaggle. <https://www.kaggle.com/datasets/mohammedabdeldayem/the-fake-or-real-dataset>

УДК 621.039.51

**SIMULATION OF NEUTRON MODERATION SPECTRA IN A
HETEROGENEOUS CHANNEL-TYPE THORIUM-CARBON
FISSILE MEDIUM**

V. Lavrukhin^[0009-0001-4926-1063]

Odesa Polytechnic National University, Ukraine
EMAIL: lavrslava@gmail.com

**МОДЕЛЮВАННЯ СПЕКТРІВ УПОВІЛЬНЕННЯ НЕЙТРОНІВ У
ГЕТЕРОГЕННМУ ТОРІЙ-ВУГЛЕЦЕВОМУ ПОДІЛЬНОМУ
СЕРЕДОВИЩІ КАНАЛЬНОГО ТИПУ**

В. Лаврухін

Національний університет «Одеська політехніка», Україна

Анотація. Методом Монте-Карло (коди OpenMC та Geant4) досліджено енергетичні спектри сповільнюваних нейтронів у гомогенних (UC2, UO2) та гетерогенних урано-вуглецевих і торій-вуглецевих каналних подільних середовищах. Показано пом'якшення швидкого спектра в дикарбіді урану (максимум 20–50 кеВ) і визначено параметри решітки паливних каналів, що формують надтепловий та тепловий спектри нейтронів. Результати перевірено порівнянням зі спектром реактора РБМК і використано для обґрунтування активної зони реакторів біжучої хвилі нейтронно-ядерних поділів.

Ключові слова: OpenMC, Geant4, метод Монте-Карло, спектр уповільнення нейтронів, дикарбід урану, торій-вуглецеве середовище, реактор біжучої хвилі.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Abstract. *Using the Monte Carlo codes OpenMC and Geant4, the energy spectra of moderated neutrons were studied in homogeneous (UC₂, UO₂) and heterogeneous channel-type uranium-carbon and thorium-carbon fissile media. Spectrum softening in uranium dicarbide (maximum at 20–50 keV) is shown, and lattice parameters producing epithermal and thermal neutron spectra are determined. The results were verified against the RBMK reactor spectrum and used to justify the core structure of traveling-wave nuclear fission reactors.*

Keywords: *OpenMC, Geant4, Monte Carlo method, neutron moderation spectrum, uranium dicarbide, thorium-carbon medium, traveling wave reactor.*

Вступ. Розробка ядерних реакторів-трансмутаторів, зокрема реакторів, що працюють у режимі біжучої хвилі нейтронно-ядерних поділів на швидких, проміжних і теплових нейтронах, потребує детального визначення структури та складу подільного середовища активної зони. У роботі за допомогою програмних кодів Geant4 [1] та OpenMC [2], що реалізують метод Монте-Карло, досліджено енергетичні спектри сповільнених нейтронів у гомогенних та гетерогенних уранових і торієвих подільних структурах з різним складом і параметрами каналних решіток. Постановка задачі. Метою роботи є визначення складу та геометричних параметрів гомогенного та гетерогенного уран-вуглецевого і торій-вуглецевого подільного середовища, у якому формується спектр нейтронів (швидкий, надтепловий чи тепловий), необхідний для реалізації режиму біжучої хвилі нейтронно-ядерних поділів [3, 4].

Методика розрахунку. Розрахунки виконувалися методом Монте-Карло для циліндричних гомогенних середовищ з дикарбиду та двоокису урану (збагачення 15 % за ураном-235), а також для гетерогенної каналної решітки паливних каналів (крок 30 см, діаметр каналу 4 см), аналогічної активній зоні реактора РБМК [5], з паливом на основі уран-238 (5 % урану-235) та торій-232 (10 % урану-233), уповільнювачем-піровуглецем і теплоносієм-водою. Додатково розглядався вплив вигораючих поглиначів (Cd, In) на форму спектра.

Результати. Для гомогенного дикарбиду урану максимум спектра сповільнення розташований в області 20–50 кеВ, тоді як у двоокису урану такого пом'якшення спектра не спостерігається. Тестовий розрахунок гетерогенної уран-вуглецевої решітки з параметрами,

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

близькими до РБМК, підтвердив коректність розрахункової схеми: отримано тепловий спектр нейтронів. Зменшення кроку решітки паливних каналів (з 30 до 6 см) призводить до поступового переходу спектра від теплового до швидкого, проте не дозволяє отримати надтепловий спектр без введення вигораючих поглиначів; додавання фольги Cd та In у паливний канал зміщує максимум спектра в надтеплову область (1–20 еВ). Для гетерогенного торій-вуглецевого середовища з тим самим типом решітки отримано тепловий спектр сповільнюваних нейтронів, що свідчить про можливість реалізації в ньому режиму біжучої хвилі поділів на теплових нейтронах.

Висновки. Визначено склад і параметри решітки гетерогенного уран-вуглецевого та торій-вуглецевого каналного подільного середовища, що забезпечують формування надтеплого та теплового спектрів сповільнюваних нейтронів відповідно. Отримані результати є основою для подальшого математичного моделювання режиму біжучої хвилі нейтронно-ядерних поділів і визначення структури активної зони реакторів-трансмутаторів нового покоління.

Література

1. Agostinelli, S., et al. (2003). Geant4 — a simulation toolkit. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A, 506(3), 250–303. [https://doi.org/10.1016/S0168-9002\(03\)01368-8](https://doi.org/10.1016/S0168-9002(03)01368-8)
2. Romano, P. K., Horelik, N. E., Herman, B. R., Nelson, A. G., Forget, B., & Smith, K. (2015). OpenMC: A state-of-the-art Monte Carlo code for research and development. Annals of Nuclear Energy, 82, 90–97. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2014.07.048>
3. Rusov, V. D., Tarasov, V. A., Sharf, I. V., et al. (2015). On some fundamental peculiarities of the traveling wave reactor operation. Science and Technology of Nuclear Installations, 2015, 1–23. <https://doi.org/10.1155/2015/703069>
4. Rusov, V. D., Tarasov, V. A., Eingorn, M. V., Chernenchenko, S. A., et al. (2015). Ultraslow wave nuclear burning of uranium-plutonium fissile medium on epithermal neutrons. Progress in Nuclear Energy, 83, 105–122. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2015.03.007>
5. Бартоломей, Г. Г., Бать, Г. А., Байбаков, В. Д., & Алхутов, М. С. (1989). Основи теорії та методи розрахунку ядерних енергетичних реакторів. Енергоатомвидав.

УДК 004.85:004.896

SYNTHESIS OF A CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK WITH AI-ASSISTANT FOR AUTOMATED IMAGE MONITORING

Ph.D., R. Kharchenko^[0000-0003-3051-7513], O. Soloviov^[0009-0005-0422-2465]

National University "Odesa Maritime Academy", Ukraine

EMAIL: romannn30@gmail.com

СИНТЕЗ ЗГОРТКОВОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ З ШІ- АСИСТЕНТОМ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО МОНІТОРИНГУ ЗОБРАЖЕННЯ

Ph.D., Р. Харченко, О. Соловійов

Національний університет «Одеська морська академія», Україна

romannn30@gmail.com

Анотація. Представлено методологію синтезу та математичного моделювання гібридної системи моніторингу на основі згорткової нейронної мережі (CNN) з модулем ШІ-асистента. Запропоновану систему розроблено як програмно-апаратний комплекс, що функціонує автономно - виключно на основі відео аналізу. Проведено порівняльний аналіз запропонованої CNN-архітектури з базовими моделями. Моделювання свідчить, що запропонована архітектура потенційно здатна досягти точності класифікації 94–96%, перевищуючи аналогічні підходи на 3–8 відсотків.

Ключові слова: згорткова нейронна мережа, моніторинг, комп'ютерний зір, синтез нейромережі, математичне моделювання.

Abstract. The methodology for synthesis and mathematical modeling of a hybrid monitoring system based on a convolutional neural network (CNN) with an AI assistant module is presented. The proposed system is developed as a software and hardware complex that functions autonomously - exclusively based on video analysis. A comparative analysis of the proposed CNN architecture with basic models is conducted. The modeling shows that the proposed architecture is potentially capable of achieving a classification accuracy of 94–96%, exceeding similar approaches by 3–8 percent.

Keywords: convolutional neural network, monitoring, computer vision, neural network synthesis, mathematical modeling.

Стрімкий розвиток методів глибокого навчання, зокрема згорткових нейронних мереж (CNN), відкриває якісно нові можливості для вирішення задачі в режимі реального часу класифікувати відеопотік без підключення зовнішніх систем. Схожі підходи успішно

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

застосовуються для моніторингу водіїв, детекції втоми авіаційних операторів а також у промисловій безпеці [1-5].

Загальна архітектура запропонованої системи складається з трьох функціональних модулів: (1) підсистема відеозахоплення та передобробки; (2) CNN-класифікатор поведінкових патернів; (3) ШІ-асистент на основі трансформерної архітектури для прийняття рішень (рис. 1). Система функціонує повністю автономно без підключення до будь-яких зовнішніх систем.

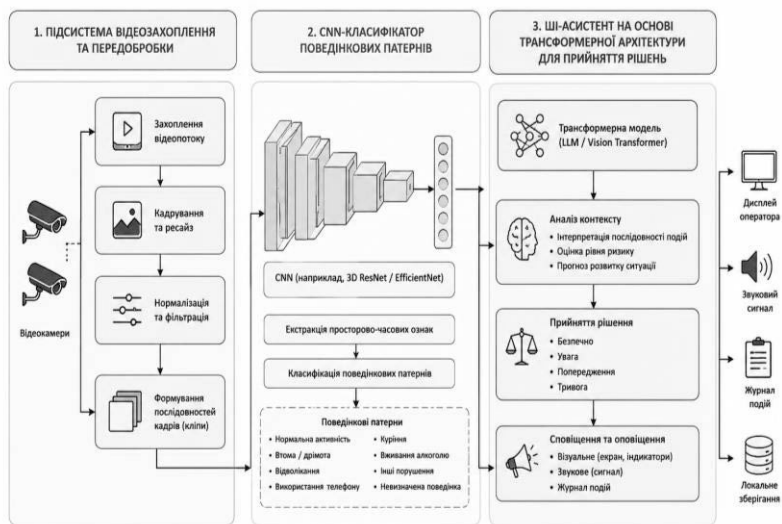


Рисунок. 1. Загальна функціональна схема гібридної CNN-системи

Підсистема відеозахоплення включає одну або дві інфрачервоні камери (1920×1080 пкс, 30 Гц), встановлені на ходовому містку. Вибір ІЧ-камер забезпечує надійну роботу в умовах нічного освітлення. Відеопотік надходить на бортовий обчислювальний модуль (NVIDIA Jetson Orin або еквівалент) і проходить таке попереднє опрацювання: зменшення роздільності до 224×224 пікселів; нормалізація значень пікселів до діапазону [0, 1]; формування часових вікон (temporal clips) тривалістю $T = 30$ сек із кроком $\Delta t = 5$ сек; аугментація: горизонтальне відображення, гаусівський шум, випадкова яскравість $\pm 15\%$. CNN-

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

класифікатор спроектований як двоетапна мережа: просторовий екстрактор обробляє окремі кадри, часовий модуль агрегує ознаки по всьому вікну.

У даній роботі вирішено науково-практичну задачу розробки концепції та теоретичного обґрунтування архітектури гібридної системи інтелектуального моніторингу зображення.

Література

1. Zhao L., Li Z. A real-time fatigue detection system for maritime watchkeeping officers using CNN // Ocean Engineering. – 2022. – Vol. 264. – P. 112506.
2. Guo J. et al. Driver drowsiness detection using hybrid spatiotemporal features // IEEE Trans. Intell. Transp. Syst. – 2021. – Vol. 22, No. 12. – P. 7624–7636.
3. Noury M., Rezaei R. Attention-based spatiotemporal CNN for industrial operator activity recognition // IEEE Access. – 2023. – Vol. 11. – P. 12401–12415.
4. Mikhaylenko, V. S., Kharchenko, R. Y., & Shcherbinin, V. A. (2020). Analysis of the Predicting Neural Network Person Recognition System by Picture Image. Automatic Control and Computer Sciences, 54(3), 249–258. <https://doi.org/10.3103/s0146411620030037>.
5. Borisyuk F. et al. CVAT: Computer Vision Annotation Tool. URL: <https://github.com/opencv/cvat> (Date of access: 2025).

УДК 004.85

A HYBRID MODEL OF DYNAMIC USER SEGMENTATION AND
MULTI-BEHAVIOR RANKING FOR MARKETING
RECOMMENDATIONS

Y. Nesterenko^{1[0009-0007-0263-1323]}, **Ph.D., I. Kyrychenko**^{2[0000-0002-7686-6439]}

Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine
EMAIL: ¹yehor.nesterenko@nure.ua, ²iryna.kyrychenko@nure.ua

ГІБРИДНА МОДЕЛЬ ДИНАМІЧНОЇ СЕГМЕНТАЦІЇ
КОРИСТУВАЧІВ ТА БАГАТОПОВЕДІНКОВОГО
РАНЖУВАННЯ ДЛЯ МАРКЕТИНГОВИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ
С. Нестеренко, ¹, Ph.D., І. Кириченко

Харківський національний університет радіоелектроніки Україна
Анотація. Маркетингові рекомендаційні системи мають враховувати кілька видів неявного зворотного зв'язку з різною доказовою силою щодо намірів купівлі. Пропонується гібридна модель, що поєднує динамічну

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

сегментацію користувачів із багатоповедінковим ранжуванням, яке окремо зважує сигнали переглядів, кліків, кошика, списку бажань та покупок перед об'єднанням у підсумкову оцінку. На REES46 (58209 користувачів, 494797 подій) модель підвищує Recall@10 на 10,7% загалом і піднімає холодний старт з 0,028 до 0,234 порівняно зі статичним кластеризаційним підходом.

Ключові слова: рекомендаційні системи, сегментація користувачів, багатоповедінкове ранжування, колаборативна фільтрація, холодний старт, персоналізація.

Abstract. Marketing recommender systems must reconcile several implicit feedback types that carry unequal evidence of purchase intent. We propose a hybrid model combining dynamically updated user segmentation with multi-behavior ranking that separately weights view, click, cart, wishlist, and purchase signals before fusing them into one score. Evaluated on REES46 (58,209 users, 494,797 events), the model raises Recall@10 by 10.7% and improves cold-start Recall@10 from 0.028 to 0.234 versus a static-clustering baseline.

Keywords: recommender systems, user segmentation, multi-behavior ranking, collaborative filtering, cold-start, personalization.

Постановка проблеми. Рекомендаційні системи в е-комерції спостерігають декілька типів неявної поведінки — перегляди, кліки, кошик, список бажань, покупки, — з різною доказовою силою щодо наміру купівлі. У попередній роботі авторів [1] порівняно алгоритми кластеризації для статичної сегментації користувачів і визначено k-means як ефективну базову модель, проте межі сегментів залишалися фіксованими в часі, а типи поведінки не розрізнялися. Огляди сучасних рекомендаційних систем відзначають зростання ролі багатосигнальних і багатоповедінкових підходів до ранжування [2], [3], тоді як проблема холодного старту нових користувачів залишається відкритою [4]. Це обмежує якість рекомендацій, особливо для нових (холодних) користувачів.

Метод. Пропонується гібридна архітектура, що, по-перше, динамічно оновлює сегменти користувачів на основі темпорально закодованого представлення поведінки шляхом ковзного перекластерування k-means і, по-друге, ранжує кандидатні товари модулем багатоповедінкового злиття, що окремо зважує сигнали переглядів, кліків, кошика, списку бажань та покупок перед об'єднанням у цільову оцінку. Базові компоненти — поведінково-зважена item-item колаборативна фільтрація та матрична факторизація (TruncatedSVD) —

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

комбінуються з вагами ($w_{seg}=0,2$; $w_{cf}=0,4$; $w_{mf}=0,2$; $w_{rec}=0,2$), підібраними сітковим пошуком. Модель оцінено на вибірці з логу REES46 [5] (58209 користувачів, 17286 товарів, 494797 подій) на 959 користувачах: 382 теплих і 577 холодних.

Результати. Порівняння з базовими моделями за метрикою Recall@10 наведено в таблиці 1. Запропонована гібридна модель перевершує найкращу базову модель на 10,7% загалом (0,216 проти 0,195) і на 22,0% для теплих користувачів (0,189 проти 0,155), залишаючись стійкою для холодного старту (0,234), тоді як статична кластеризаційна базова модель [1] на холодних користувачах різко деградує (0,028). Абляційне дослідження показало, що підібрані ваги злиття та динамічне перекластерування дають вимірний внесок, тоді як стабільність сегментів у часі становить ARI=0,635.

Таблиця 1. Порівняння моделей за Recall@10

Модель	Загалом	Теплі користувачі	Холодний старт
MostPopular (базова)	0,195	0,155	0,222
Статична KMeans+CF [1]	0,066	0,123	0,028
Запропонована гібридна модель	0,216	0,189	0,234

Висновки. Динамічна сегментація користувачів у поєднанні з багатоповедінковим ранжуванням покращує якість рекомендацій порівняно зі статичною кластеризацією та односигнальними базовими моделями, і особливо ефективна для холодного старту. Подальша робота передбачає перевірку моделі на довгих часових горизонтах і додаткових наборах даних.

Література

1. Kyrychenko, I., Nesterenko, Y., Chupryna, A., Savulioniene, L., & Sakalys, P. (2025). Application of clustering methods in recommender systems for user behavior analysis. Environment. Technology. Resources. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, 2, 177–180. <https://doi.org/10.17770/etr2025vol2.8611>
2. Kumar, C., Chowdary, C. R., & Meena, A. K. (2024). Recent trends in recommender systems: A survey. International Journal of Multimedia Information Retrieval. <https://doi.org/10.1007/s13735-024-00349-1>

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

3. Kim, K., Kim, S., Lee, G., Jung, J., & Shin, K. (2025). Multi-behavior recommender systems: A survey. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2503.06963>
4. Nguyen, H. T., Nguyen, D., Doan, K., & Nguyen, V. A. (2024). Cold-start recommendation by personalized embedding region elicitation. Proceedings of the 40th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI 2024). <https://doi.org/10.48550/arXiv.2406.00973>
5. Kechinov, M. (2019). eCommerce behavior data from multi-category store [Data set]. Kaggle / REES46 Marketing Platform (Open CDP project). kaggle.com/mkechinov/ecommerce-behavior-data-from-multi-category-store

UDC 004.93

**ALTERNATIVE METHODS OF MOTION DETECTION IN
WILDLIFE OBSERVATION SCENARIOS**

I. Lysikov^[0009-0008-2310-7288], **Ph.D.**, **O. Rudenko**^[0000-0003-0859-2015]

Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine
EMAIL: info@nure.ua

**АЛЬТЕРНАТИВНІ МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ РУХУ В СЦЕНАРІЯХ
СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА ДИКОЮ ПРИРОДОЮ**

I. Lysikov, Ph.D., O. Rudenko

Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна

Анотація. Запропоновано багатосигнальний підхід до виявлення руху тварин у нічних відеозаписах фотонасток. Конвеєр поєднує аналіз природних кольорів, оптичного потоку, зміни глибини, блиску очей, узгодженості рослинності, детекції об'єктів і корекції зміщення камери. На тестовій вибірці з шести кадрів показано потенціал методу та визначено основні джерела помилкових спрацювань і напрями подальшої валідації.

Ключові слова: фотонастка, моніторинг дикої природи, виявлення руху, комп'ютерний зір, оптичний потік, зміна глибини, детекція об'єктів.

Abstract. A multi-signal approach is proposed for detecting animal movement in nighttime camera-trap video. The pipeline combines natural-color gating, optical flow, depth-change estimation, eye-shine detection, foliage-coherence analysis, object detection, and long-baseline camera-shift correction. A six-frame test sample demonstrates the approach's potential and identifies major false-positive sources and the validation steps required for larger-scale evaluation.

Keywords: camera traps, wildlife monitoring, motion detection, computer vision, optical flow, depth change, object detection.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Introduction. Camera traps generate large volumes of empty footage because wind-driven vegetation can trigger motion sensors, while PIR systems can miss slow-moving, partially occluded, small, or ectothermic animals [1]. The proposed approach therefore treats detection as signal fusion rather than single-threshold triggering. It combines appearance, motion, scene geometry, biological reflectance, object detection, and camera-shift evidence so that independent channels can corroborate genuine animal presence.

Related work. PIR remains common in wildlife camera traps, but its triggering behavior produces both missed detections and false triggers [1]. Riechmann et al. demonstrated a low-power video-camera-trap pipeline combining motion vectors with deep neural networks [2]. MegaDetector is used here as an independent corroborating detector [3], while recent field work supports the use of computer vision for improving detections of small fauna [4]. The present design extends this by fusing heterogeneous signals.

Method. The frame-level pipeline includes non-natural-color gating; CLAHE, unsharp masking and Canny preprocessing; dense Farneback optical flow; monocular depth-change estimation; eye-shine detection; foliage-coherence analysis; and long-baseline sparse Lucas–Kanade tracking. MegaDetector provides an additional full-frame signal. Depth-change contours supply geometry-based evidence, flow coherence helps separate foliage from animal motion, and long-baseline tracking characterizes slow camera-platform drift. Each stage is independently configurable and returns structured results for downstream fusion.

Results. Six sampled frames from five deployments and multiple species were reviewed. MegaDetector detected the primary subject in every frame (0.61–0.93 confidence), including two low-contrast hedgehogs in the background (0.54–0.72). Eye-shine detection worked in low-clutter scenes but produced many unconfirmed candidates; in two frames, none of ten raw candidates was confirmed. Depth activity ranged from zero contours in static scenes to 25 in a close-range, high-clutter scene.

limitations and future work. Eye-shine detection requires corroboration, and foliage coherence can classify animal silhouette edges as vegetation. Depth activity is strongly scene-dependent. Two detections initially suspected as background artifacts were confirmed as genuine

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

hedgehogs during ground-truth review. For battery-powered deployment, expensive depth and detection stages should be gated by cheaper color and flow checks.

Conclusion. The pilot results indicate that combining appearance-based motion, scene-geometry change, biological reflectance cues, object detection, and camera-shift correction can help distinguish animal activity from wind-driven vegetation and platform drift. The evidence remains qualitative, so further evaluation and ablation experiments are required.

References

1. Welbourne, D. J., Claridge, A. W., Paull, D. J., & Lambert, A. (2016). How do passive infrared triggered camera traps operate and why does it matter? Breaking down common misconceptions. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 2(2), 77–83. <https://doi.org/10.1002/rse2.20>
2. Riechmann, M., Gardiner, R., Waddington, K., Rueger, R., Fol Leymarie, F., & Rueger, S. (2022). Motion vectors and deep neural networks for video camera traps. *Ecological Informatics*, 69, 101657. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101657>
3. Beery, S., Morris, D., & Yang, S. (2019). Efficient pipeline for camera trap image review. arXiv. <https://arxiv.org/abs/1907.06772>

УДК 004.032.26

MATHEMATICAL MODEL OF IZHKEVICH
NETWORK DYNAMICS

Dr.Sci., D. Kliushyn^{1[0000-0003-4554-1049]}, **O. Maistrenko**^{2[0009-0003-3464-7777]}

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine

EMAIL: ¹dmytroklyushin@knu.ua, ²o.maistrenko@knu.ua

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДИНАМІКИ МЕРЕЖІ ІЖИКЕВИЧА

Dr.Sci., Д. Ключин, О. Майстренко

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Україна

Анотація. Модель нейрона Іжikeвича поєднує біологічну реалістичність із обчислювальною ефективністю, що робить її цінною для великомасштабного моделювання мозку. У цій роботі розроблено строгий підхід до аналізу таких мереж як багатовимірних кусково-гладких динамічних систем. За допомогою методів Ляпунова та біфуркаційного аналізу отримано умови стійкості та

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

визначено пороги переходів від станів спокою до синхронного збудження й складних коливань. Також досліджено стохастичні впливи та встановлено результати щодо стаціонарної статистики активності й спричиненого шумом спайкінгу.

Ключові слова: модель Ізжикевича, кусково-гладкі динамічні системи, гібридні системи, біфуркаційний аналіз.

Abstract. The Izhikevich neuron model combines biological realism with computational efficiency, making it valuable for large-scale brain simulations. This paper develops a rigorous framework for analyzing such networks as high-dimensional, piecewise-smooth dynamical systems. Using Lyapunov and bifurcation methods, we derive stability conditions and identify thresholds for transitions from resting states to synchronous firing and complex oscillations. We also analyze stochastic inputs, establishing results on stationary activity statistics and noise-driven spiking.

Keywords: Izhikevich model, piecewise-smooth dynamical systems, hybrid systems, bifurcation analysis

The analysis of a single Izhikevich neuron, as described in [1], reveals it is fundamentally a hybrid dynamical system. To provide a rigorous foundation for theorems, we must first formally define this system. We formulate the network as a hybrid automaton, which is a tuple $= (S, C, F, G, R)$ defining the system's state space, flow domain, continuous dynamics, guard (event-detection) set, and discrete reset map. This formulation is necessary to explicitly capture the network interactions [2]. The object of following theorems is the hybrid dynamical system $= (S, C, F, G, R)$. This formulation transforms the problem of network dynamics into the analysis of trajectories in $3N$ that flow according to F in the domain C and are discontinuously mapped by R upon striking the guard G [3, 4]. The quiescent state, $x \in C$, is the global equilibrium of the network, corresponding to a state of silence where no neuron fires. Its existence and stability are prerequisites for any analysis of excitability.

Theorem 1. Let the network consist of N identical neurons (parameters a, b) with homogeneous external input $I_{\text{ext},j} = I$.

Existence: The network admits a unique global fixed point $x = (v, \mu, I_{\text{syn}}) \in S$ given by $I_{\text{syn},j} = 0$, $u_i = bv_i$, $v_i = v$, where v is the

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

lower (stable) real root of the quadratic equation $0.04(v)^2 + (5 - b)v + (140 + I) = 0$.

Quiescence Condition: This fixed point x represents a stable quiescent state (i.e., $x \in C$ and is locally stable) if and only if $v < v_{peak}$ (the fixed point is sub-threshold) and $a(b - (0.08v + 5)) > 0$ (stability condition).

Theorem 2. Let the network consist of N identical neurons (parameters a, b, c, d, τ_s) and homogeneous input I . Let the connectivity matrix W have a constant row sum, $\sum W_{ij} = k$ for all i .

1. Existence: The synchronization manifold $M = \{x \in S \mid v_1 = \dots = v_N, u_1 = \dots = u_N, I_{syn,1} = \dots = I_{syn,N}\}$ is an invariant manifold of the hybrid system. A synchronous periodic orbit $\gamma(t) \subset M$ exists if the reduced 3-dimensional hybrid system on M admits a stable periodic orbit.

2. Stability: The synchronous orbit $\gamma(t)$ is locally asymptotically stable if and only if all $3N - 3$ transverse eigenvalues μ_T of the monodromy matrix (Poincaré map Jacobian) associated with $\gamma(t)$ satisfy $|\mu_T| < 1$.

References

1. Izhikevich, E. M. (2003). Simple model of spiking neurons. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 14(6), 1569–1572. <https://doi.org/10.1109/TNN.2003.820440>
2. Izhikevich, E. M. (2010). Hybrid spiking models. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 368(1930), 5061–5070. <https://doi.org/10.1098/rsta.2010.0130>
3. Guo, K., Wang, X., Li, Y., & Zhang, Z. (2025). Complex spiking neural network evaluated by injury resistance under stochastic attacks. *Frontiers in Neuroscience*, 19, 3062–3139. <https://doi.org/10.3390/brainsci15020186>
4. Yang, Y., Chen, L., Liu, M., & Zhao, H. (2025). Neural SDE-based spike control of noisy Izhikevich neurons. *PLOS Computational Biology*, 21(3), 87–108. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0330607>

SECTION 2. CONTROL, ROBOTICS, AND DISTRIBUTED
SYSTEMS

УДК 004.27:004.891

**OPTICAL COMPUTING ARCHITECTURE FOR DECISION
SUPPORT IN TRANSPORT CONTROL PROCESSES**

**Dr.Sci., V. Timchenko¹[0000-0003-4259-3919], Dr.Sci., V. Kreinovich²[0000-0002-1244-1650],
Dr.Sci., Yu. Kondratenko³[0000-0001-7736-883X], O. Iegorov⁴[0009-0009-6206-2956]**

^{1,4}Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Ukraine,

²University of Texas at El Paso, USA,

³Petro Mohyla Black Sea National University, Ukraine

EMAIL: ¹vl.timchenko58@gmail.com, ²vladik@utep.edu,

³y_kondrat2002@yahoo.com, ⁴alex.yegorov@gmail.com

**АРХІТЕКТУРА ОПТИЧНИХ ОБЧИСЛЕНЬ ДЛЯ ПІДТРИМКИ
ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ
ТРАНСПОРТНИМИ ПРОЦЕСАМИ**

**Dr.Sci., В. Тимченко¹, Dr.Sci., В. Крейнович²,
Dr.Sci., Ю. Кондратенко³, О. Єгоров⁴**

^{1,4}Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Україна,

²Техаський університет в Ель-Пасо, США,

³Чорноморський національний університет ім. Петра Могили, Україна

***Анотація.** У роботі представлено теоретичну базу ієрархічної системи підтримки прийняття рішень (СППР) на основі кольорних оптичних обчислень. Архітектура системи забезпечує паралельне опрацювання великого об'єму даних через подання нечітких лінгвістичних оцінок як квантів кольорної інформації. Процес обробки продемонстровано на прикладі сценарію зльоту літака AIRBUS, із врахуванням 45 факторів ризику. Перевагами архітектури є висока продуктивність та наочна візуалізація результатів для оператора системи.*

***Ключові слова:** архітектура оптичних обчислень, кванти кольорної інформації, система підтримки прийняття рішень, керування транспортними процесами.*

***Abstract.** The paper presents the theoretical framework of a hierarchical decision support system (DSS) based on color optical computing. The system*

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

architecture provides parallel processing of large volumes of data by encoding fuzzy linguistic estimates as quanta of color information. The processing procedure is demonstrated for the takeoff scenario of an AIRBUS aircraft, taking 45 risk factors into account. The advantages of the architecture are high performance and clear visualization of results for the system operator.

Keywords: *optical color computing architecture, color information quanta, decision support system, transport control*

Підвищення безпеки масштабних транспортних процесів, таких як авіаційні та морські перевезення, становить багатофакторну та багатоцільову проблему прийняття рішень. Людина-оператор вирішує цю проблему в умовах граничної інтенсивності трафіку та великих обсягів швидкозмінних вхідних даних. До прикладу, в порту Роттердама щорічно виконується понад 30 000 заходів суден, а у великих аеропортах, наприклад в Атланті, кількість зльотів і посадок сягає майже мільйона на рік (за відкритими джерелами). Обсяг даних для кожної диспетчерської позиції може становити сотні значень, що перевищує можливості оператора з їх опрацювання та призводить до помилкових рішень [1]. У критичних ситуаціях, таких як відмова двигуна під час зльоту літака AIRBUS, командир екіпажу має лише одну секунду на ухвалення безпечного рішення [2]. Для зниження цих ризиків пропонується оптична архітектура системи підтримки прийняття рішень (СППР) на основі нечітких [3] вхідних даних. Нечіткі вхідні дані подані у вигляді квантів колірної інформації, впорядкованих відносно позитивного рішення — наприклад, червоний {R} для «ні», зелений {G} для «ймовірно так» та синій {B} для «так» [4, 5]. Логічні операції диз'юнкції та кон'юнкції реалізовано як адитивне змішування та субтрактивне фільтрування оптичних потоків.

Базова структура логічного виведення рішення (рис. 1) містить три секції: підсумовування початкових оцінок; паралельних гілок фільтрування альтернативних оцінок; послідовності відповідальних експертних фільтрів, кожен з яких може заблокувати вихідне рішення. У цьому випадку світловий потік гаситься, що відповідає чорному {Blc} стану «рішення відсутнє», і процес оцінювання повторюється з оновленими вхідними даними.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

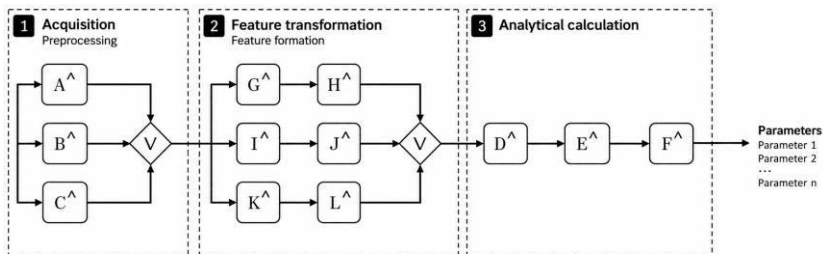


Рисунок 1. Базова логічна схема прийняття рішень (надрядкові індекси $\wedge$, $\vee$ позначають операції кон'юнкції та диз'юнкції, відповідно).

Запропонований підхід продемонстровано на прикладі функціонування СППР при зльоті повітряного судна [2], для якого сформовано базу нечітких даних із 45 факторів безпеки: 9 основних, 24 координувальних та 12 відповідальних. Паралельність опрацювання закладена в структуру оптичної архітектури: всі фактори обробляються одночасно, із продуктивністю, визначеною швидкістю світла. Вихідні дані подаються безпосередньо у вигляді кольору, що забезпечує миттєву візуальну інтерпретацію та дає оператору змогу своєчасно ухвалити безпечне рішення.

Література

1. International Civil Aviation Organization. (2013). *Safety management manual (SMM)* (3rd ed., Doc 9859 AN/474). ICAO.
2. Airbus. (2007). *Introduction to aircraft performance*. Flight Operations Support & Services.
3. Zadeh, L. A. (1994). The role of fuzzy logic in modeling, identification and control. *Modeling, Identification and Control*, 15(3), 191–203. <https://doi.org/10.4173/mic.1994.3.9>
4. Timchenko, V., Kondratenko, Y., & Kreinovich, V. (2023). Why color optical computing? In N. H. Phuong & V. Kreinovich (Eds.), *Deep learning and other soft computing techniques* (pp. 227–233). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-29447-1_20
5. Timchenko, V., Kondratenko, Y., Kreinovich, V., & Kozlov, O. (2023). Fuzzy color computing based on optical logical architecture. In C. Kahraman et al. (Eds.), *Intelligent and fuzzy systems: INFUS 2023* (Lecture Notes in Networks and Systems, Vol. 758, pp. 435–442). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-39774-5_55

УДК 519.7:004.8

**MINIMUM STATE SPACE COVERAGE AS AN ANOMALY
LOCALIZATION PROBLEM IN STOCHASTIC SYSTEMS**

Ph.D., D. Symonov^{1[0000-0002-6648-4736]}, **Dr.Sci., O. Palagin**^{2[0000-0003-3223-1391]},
Y. Symonov^{3[0009-0008-2581-2001]}, **B. Zaika**^{4[0009-0001-9567-8361]}

V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine, Ukraine
EMAIL: ¹denys.symonov@gmail.com, ²palagin_a@ukr.net, ³e.symonov@gmail.com,
⁴zaikabohdan5@gmail.com

**МІНІМАЛЬНЕ ПОКРИТТЯ ПРОСТОРУ СТАНІВ ЯК ЗАДАЧА
ЛОКАЛІЗАЦІЇ АНОМАЛІЙ У СТОХАСТИЧНИХ СИСТЕМАХ**

**Ph.D., Д. Симонов, Dr.Sci., О. Палагін,
Є. Симонов, Б. Заїка**

Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Україна

***Анотація.** У роботі запропоновано ентропійно-геометричний підхід до локалізації аномалій у стохастичних системах через трактування дефектів як локальних порушень інваріантності метричної ентропії. На основі мінімальних ε -покриттів простору станів введено локальний функціонал ентропії покриття та побудовано центрований індекс аномальності, доведено його інваріантність відносно ізометричних перетворень. Показано, що виникнення ізольованих структур призводить до нелінійного зростання ентропії та зміни її асимптотичної розмірності. Результати концептуально пов'язують теорію мінімальних покриттів і метричну ентропію з аналізом складних динамічних систем.*

***Ключові слова:** стохастична система, ентропія Колмогорова-Тихомирова, виявлення аномалій, геометрія простору станів*

***Abstract.** The paper proposes an entropy-geometric approach to the localization of anomalies in stochastic systems by treating defects as local violations of the invariance of metric entropy. Based on minimal ε -covers of the state space, a local functional of the entropy of the covering is introduced and a centered anomaly index is constructed, and its invariance with respect to isometric transformations is proven. It is shown that the emergence of isolated structures leads to a nonlinear increase in entropy and a change in its asymptotic dimension. The results conceptually connect the theory of minimal covers and metric entropy with the analysis of complex dynamical systems.*

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Keywords: *stochastic system, Kolmogorov-Tikhomirov entropy, anomaly detection, state space geometry.*

Аналіз складних стохастичних систем традиційно базується на дослідженні траєкторій окремих змінних або їхніх імовірнісних характеристик. Однак у високорозмірних системах подібний підхід не відображає геометричної структури простору станів, який формується колективною динамікою агентів. Нехай $X_n = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \subset M$ є множина спостережуваних станів, а (M, ρ) – метричний простір, індукований динамікою системи [1]. Тоді для опису геометричної складності X_n розглядається задача мінімального ε -покриття:

$$N_X(\varepsilon) = \min \{k \in \mathbb{N} : \exists c_1, \dots, c_k \in X, X \subset \bigcup_{i=1}^k B_\varepsilon(c_i)\}, \quad (1)$$

$$B_\varepsilon(x) = \{y \in X : \rho(x, y)\} \leq \varepsilon, \varepsilon > 0. \quad (2)$$

Величина $N_X(\varepsilon)$ інтерпретується як мінімальна кількість локальних геометричних елементів, необхідних для опису структури емпіричної множини станів із точністю ε .

Оскільки число покриття є дискретною масштабозалежною характеристикою, доцільно перейти до його логарифмічної інформаційної форми. Метрична ентропія Колмогорова-Тихомірова задається як

$$H_X(\varepsilon) = \log N_X(\varepsilon), \quad (3)$$

і характеризує ефективну геометричну складність множини спостережуваних станів на масштабі ε .

Подальший аналіз потребує переходу від глобальної характеристики множини X до її локальної структури. Для цього для кожної точки $x \in X$ визначається локальне r -оточення:

$$U_r(x) = \{y \in X : \rho(x, y) \leq r\}, \quad (4)$$

де $r > 0$ задає масштаб локалізації. Для довільної скінченної підмножини $Y \subseteq X$ позначимо через $N_\varepsilon(Y)$ мінімальне число ε -куль, необхідних для покриття Y . Тоді локальна ентропія покриття в точці x визначається як

$$H_x(\varepsilon, r) = \log N_\varepsilon(U_r(x)), 0 < \varepsilon \leq r. \quad (5)$$

Отже, кожній точці $x \in X$ ставиться у відповідність скалярна характеристика локальної геометричної складності її r -околу.

Для усунення впливу середнього рівня локальної складності вводиться середня локальна ентропія

$$\bar{H}(\varepsilon, r) = \frac{1}{|X|} \sum_{x \in X} H_x(\varepsilon, r), \quad (6)$$

враховуючи (6) визначається локальне ентропійне відхилення

$$\Delta H_{\varepsilon, r}(x) = H_x(\varepsilon, r) - \bar{H}(\varepsilon, r). \quad (7)$$

Величина $\Delta H_{\varepsilon, r}(x)$ (7) характеризує відхилення ентропійної складності r -околу точки x від середнього рівня локальної складності на множині X . Додатні значення $\Delta H_{\varepsilon, r}(x)$ відповідають локальному ускладненню геометричної структури, тоді як від'ємні значення вказують на її локальне спрощення або ущільнення. Множина локалізованих аномальних станів визначається як:

$$\mathcal{A}_\tau = \{x \in X: |\Delta H_{\varepsilon, r}(x)| > \tau\}, \quad (8)$$

де $\tau > 0$ – пороговий параметр.

Отже, потенційна аномальність точки інтерпретується не як статистичне відхилення окремих координат, а як локальна структурна зміна геометрії емпіричної множини станів [2].

References

1. Symonov, D., Palagin, O., Symonov, Y., & Zaika, B. (2025). Optimisation of training samples with KLE and mutual information. *Proceedings of the Eighth International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS 2025)*, 3988, 296–306. <https://ceur-ws.org/Vol-3988/paper23.pdf>
2. Palagin, O., Symonov, D. (2025). Formalized model of attitude formation as a tool for analyzing behavioral patterns. *Cybernetics and Systems Analysis*, 61, 705–713. <https://doi.org/10.1007/s10559-025-00804-9>

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

UDC 004.056: 004.9+629.4

**NEUROCONTROLLERS IN AUTONOMOUS ROBOTICS:
TRAINING METHODS AND CONTROL SCHEMES**

**Dr.Sci., A. Kargin¹[0000-0003-2885-9071], Ph.D., T. Petrenko²[0000-0001-6305-7918],
Ph.D., O. Piatyko³[0000-0002-7731-3051], Ph.D., O. Pronina⁴[0000-0001-7085-8027]**

^{1,2}Ukrainian State University of Railway Transport,

^{3,4}Pryazovskyi State Technical University

EMALE: ¹kargin@kart.edu.ua, ²petrenko_tg@kart.edu.ua,

³piatyko_o_ye@pstu.edu, ⁴pronina_o_i@pstu.edu

**НЕЙРОКОНТРОЛЕРИ В АВТОНОМНІЙ РОБОТОТЕХНІЦІ:
МЕТОДИ НАВЧАННЯ ТА СХЕМИ УПРАВЛІННЯ**

**Dr.Sci., A. Kaprin¹, Ph.D., Т. Петренко², Ph.D., О. П'ятикоп³,
Ph.D., О. Проніна⁴**

^{1,2}Український державний університет залізничного транспорту,

^{3,4}П'язівський державний технічний університет

***Анотація.** Розглянуто автономні роботи (АР), підтримувані гібридним Штучним Інтелектом (ШІ). У системі керування АР використовуються різні типи контролерів прямого та зворотного зв'язку. Метою цієї статті є демонстрація можливості використання нейронних контролерів (НК) у контурі керування АР, якщо вони інтегровані зі ШІ, що Відчуває (ШІВ). Обговорюються схеми управління та навчання НК як компонента ШІВ, що створюється як гібридний ШІ для малих АР-застосунків на основі подієво-керованої архітектури. Показано, що під керуванням FAI процедура навчання звичайної нейронної мережі може бути подібною до процедури навчання спайкових нейронних мереж.*

***Ключові слова:** штучний інтелект що відчуває, автономна роботизована система, штучна нейронна мережа, схема онлайн-навчання, нейроконтролер.*

***Abstract.** Autonomous Robots (ARs) supported by hybrid AI are considered. Different types of feedforward and feedback controllers are used in the AR control system. The purpose of this paper is to demonstrate the possibility of using Neural Controllers (NCs) in the AR control loop if they are integrated with Feeling Artificial Intelligence (FAI). The operational and learning schemes of the NC, as a component of FAI, which has developed as a hybrid AI for small AR applications based on an event-driven architecture, are discussed. It is shown that, under FAI supervision, the*

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

training procedure for conventional NC may be similar to that of Spiking Neural Network (SNN).

Keywords: *feeling artificial intelligence, autonomous robotic systems, artificial neural network, online learning scheme, neurocontroller.*

Creating autonomous robots supported by AI that operate not in a virtual but in the real, physical world is a pressing task today. One current trend in Generative AI is the RT-X project, which proposes creating a General Robotic Brain with GenAI support [1]. Such a hybrid AI, equipped with a symbolic decision-making mechanism and a pre-trained set of robot skills to perform its functions in the physical world, is designed for large-scale robotic applications. Another hybrid AI model, known as FAI, based on cognitive models borrowed from living beings, is proposed [2] for small AR applications that utilize conventional computer hardware and software. The ARs handle many tasks related to movement control and tracking the movement of external objects using video and other sensors. These tasks belong to the lower levels of the hybrid AI structure and are implemented as feedback or feedforward controllers that receive commands from higher-level FAI [2]. Each of these controllers is responsible for a single motion, and all of them shape complex robot actions. The hybrid AI upper level orchestrates these actions to be concerted. At the same time, in operational mode, retraining NC is required to overcome the lack of information about the environment, but this is impossible; the AR is carrying out a mission, running on limited computer resources. Only the recently mentioned problem, due to the advent of SNN, has gained a perspective to be overcome [3]. The SNN neurons emit asynchronous binary events in time. Computation is event-driven and temporal, enabling real-time learning and processing in the SNN when running on neuromorphic hardware [4]. However, adoption of neuromorphic hardware is currently limited. Another challenge to applying SNN in the NC is the complexity of training SNNs. Researchers are actively exploring alternative training methods to overcome this limitation.

The premise of our paper is as follows: the FAI has an event-driven architecture [2] and can support multiple computing processes in this mode. So, FAI can support such a mode for the NC learning and running in real time on conventional computer facilities. The purpose of this work is to explore different schemes for online learning of feedback and feedforward

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

neurocontrollers for use in ARs that are supported by a hybrid FAI. Carry out the experiments to confirm the premise that specific NC learning schemes can be executed in real time and in a mixed online and operational control mode.

References

1. O'Neill, A., et al. (2024). Open X-Embodiment: Robotic learning datasets and RT-X models. In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) (pp. 6892–6903). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICRA57147.2024.10611477>
2. Kargin, A., & Petrenko, T. (2023). Knowledge distillation for autonomous intelligent unmanned system. In W. Pedrycz & S.-M. Chen (Eds.), Advancements in knowledge distillation: Towards new horizons of intelligent systems (Studies in Computational Intelligence, Vol. 1100, pp. 193–231). Springer International Publishing.
3. Dikmen, İ. C. (2026). Spiking neural networks: A tutorial on models, coding, and training. Preprints. <https://doi.org/10.20944/preprints202605.0827.v1>
4. Jeong, D. S. (2018). Tutorial: Neuromorphic spiking neural networks for temporal learning. Journal of Applied Physics, 124(15), 152002. <https://doi.org/10.1063/1.5042243>

UDC 004.8:007.52

**ADAPTIVE NEURAL NETWORK CONTROL OF A MOBILE
PLATFORM USING COMPUTER VISION**

**T. Kovaliv¹[0009-0001-1935-7937], Ph.D., Y. Pelekh²[0000-0003-4153-5418],
Dr.Sci., I. Tsmots³[0000-0002-4033-8618]**

Lviv Polytechnic National University, Ukraine

EMAIL: ¹taras.a.kovaliv@lpnu.ua, ²yurii.m.pelekh@lpnu.ua, ³ivan.h.tsmots@lpnu.ua

**АДАПТИВНЕ НЕЙРОМЕРЕЖЕВЕ КЕРУВАННЯ МОБІЛЬНОЮ
ПЛАТФОРМОЮ ЗАСОБАМИ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ**

Т. Ковалів, Ph.D., Ю. Пелех, Dr.Sci., І. Цмоць

Національний університет «Львівська політехніка», Україна

***Анотація.** Представлено систему адаптивного нейромережевого керування мобільною платформою TurtleBot3 Waffle, що використовує зображення глибини як основний вхід. Команди руху формує двогілкова*

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

згорткова нейронна мережа, навчена клонуванням поведінки на демонстраціях експертного контролера на основі модифікованого методу потенційних полів. Систему реалізовано як пакет ROS 2 та досліджено у Gazebo на наборі з 157 839 зразків. Модель працює з частотою близько 14 Гц; експерименти кількісно оцінюють обмеження клонування поведінки, спричинене зсувом розподілу.

Ключові слова: автономна навігація, мобільний робот, нейромережеве керування, клонування поведінки, згорткова нейронна мережа, камера глибини, потенційні поля.

Abstract. An adaptive neural network control system for the TurtleBot3 Waffle platform is presented, using depth images as its primary input. A two-branch convolutional network, trained via behavioral cloning on a modified-potential-fields expert, produces motion commands. Implemented as a ROS 2 package and evaluated in Gazebo on 157,839 samples, the model runs at about 14 Hz and quantifies the distribution-shift limitation of behavioral cloning.

Keywords: autonomous navigation, mobile robot, neural network control, behavioral cloning, convolutional neural network, depth camera, potential fields.

Autonomous mobile robotics is moving into practical scenarios such as warehouse logistics, indoor inspection, and service platforms, where CNN-based and imitation-learning methods are actively investigated alongside classical planning [1]. Navigation from depth images is particularly relevant, as a depth camera presents the scene as a distance map that is natural to convolutional neural networks [2]. Behavioral cloning trains a model to repeat expert commands, but the resulting model may behave poorly in states absent from the training set.

The goal of this work is to develop an intelligent system of adaptive neural network control for the TurtleBot3 Waffle platform that uses depth images to provide safe autonomous motion in a partially unknown environment. The work addresses the following tasks: justifying the ROS 2 / Gazebo / PyTorch stack and a CNN that regresses control commands from a depth image; developing an expert controller based on a modified potential fields method with sector analysis, corner-trap detection, and a lock mechanism; implementing automatic dataset collection with periodic robot teleportation; training the CNN with augmentation, oversampling of rare classes, and a weighted loss; adding ROS 2 inference nodes with several

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

levels of safety; and comparing the CNN controller with the expert, including generalization to a modified environment.

The system is a set of ROS 2 nodes forming perception, decision, and execution branches. The expert controller performs an adaptive five-sector analysis of the depth image, moves toward the freest space, and uses a finite-state machine (FREE, SLOW, ESCAPE) to detect and escape corner traps. The DepthWanderingCNN controller fuses the normalized depth tensor ($1 \times 64 \times 96$) with an eight-element feature vector (five sector distances plus a three-element one-hot state), and regresses bounded linear and angular velocities; it has 822,114 parameters and is trained with the Smooth L1 loss and Adam. The dataset of 157,839 samples was collected in a 20×20 m maze with over 160 obstacles using random restart; oversampling of rare states and a class-weighted loss were then applied during training. The best model achieved a validation loss of 0.0220 and reproduced expert behavior with controlled quality degradation (0.8 vs 0.3 collisions per ten minutes), while running at about 14 Hz in real-time. In a modified environment, the mean number of collisions grew from 0.8 to 4.1 (by a factor of about 5.1), confirming the distribution-shift limitation. The system provides a reproducible ROS 2 baseline for imitation-learning research on mobile robots without relying on LiDAR; future work targets Dagger, a global A* planner, a multimodal loss, and transfer to the real platform [3].

References

1. Waga, A., Benhlima, S., Bekri, A., Abdouni, J., & Saber, F. Z. (2025). A survey on autonomous navigation for mobile robots: From traditional techniques to deep learning and large language models. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, 37, Article 198. <https://doi.org/10.1007/s44443-025-00216-x>
2. Misir, O., & Celik, M. (2025). Visual-based obstacle avoidance method using advanced CNN for mobile robots. *Internet of Things*, 31, Article 101538. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2025.101538>
3. Tsmots, I., Teslyuk, V., Opotyak, Y., & Rabyk, V. (2023). Intelligent motion control system for the mobile robotic platform. In *Proceedings of the 7th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems (CoLInS 2023): Vol. 3* (pp. 555–569). CEUR-WS. <https://ceur-ws.org/Vol-3403/paper42.pdf>

UDC 519.15:621.372

**DEVELOPMENT OF VECTOR COMBINATORIAL COMPUTER
TECHNOLOGY AS AN ALTERNATIVE FOR QUANTUM ONE**

**Dr.Sci., V. Riznyk¹[0000-0002-3880-4595], Ph.D., M. Solomko²[0000-0003-0168-5657],
Y. Bilas³[0009-0006-0051-5081], M. Hladchuk⁴[0009-0007-5466-1575]**

¹Lviv Polytechnic National University, Ukraine,

²National University of Water and Environmental Engineering, Ukraine,

^{3,4}Lviv Polytechnic National University, Ukraine

EMAIL: ¹volodymyr.v.riznyk@lpnu.ua, ²doctrinas@ukr.³netyurii.y.bilas@lpnu.ua,
⁴maksym.a.hladchuk@lpnu.ua

**РОЗРОБКА ВЕКТОРНОЇ КОМБІНАТОРНОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ
ТЕХНОЛОГІЇ ЯК АЛЬТЕРНАТИВИ КВАНТОВІЙ**

Dr.Sci., V. Різник¹, Ph.D., М. Соломко², Ю. Білас³, М. Гладчук⁴

¹Національний університет «Львівська політехніка», Україна,

²Національний університет водного господарства та природокористування,
Україна,

^{3,4}Національний університет «Львівська політехніка», Україна

Анотація. Окреслюються перспективи розвитку векторних інформаційних технологій на основі мінімізації базової структури багатовимірних систем обробки інформаційних потоків та розширення функціональності векторних комп'ютерних систем. Суть обробки векторних даних в інтелектуальній системі відліку координат полягає в меншому наборі базових посилань, ніж загальна кількість точкових координат, які генерують їх шляхом додавання останніх. Ця технологія дозволяє скоротити загальний час обробки інформаційних потоків, кодуючи набори даних у списках двох або більше категорій атрибутів одночасно.

Ключові слова: комбінаторна оптимізація, векторна ІКВ, інтелектуальна система відліку, обробка даних, категорії атрибутів.

Abstract. The prospects for the development of vector information technologies are opened based on the minimization of the basic structure of multidimensional information flow processing systems and the functionality of vector computer systems is expanded. The essence of the vector data processing under manifold coordinate system is a smaller set of basic references than the total number of coordinates, which generates them by adding the latter.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

***Keywords:** combinatorial optimization, vector IRB, intelligent reference system, data processing, attribute categories.*

Introduction.

Big vector data information technology, is known, be able to defined as a software-utility that is designed to analysis process and extract data from extremely complex and large data sets which the traditional data processing software could never deal with [1]. Ongoing advances improve the link between computational and physical elements, increasing the reliability and functionality of computer systems, using combinatorial theory [2]. The book [3], this concise new edition of the pioneering book on multidimensional signal processing, a polynomial or a rational function (matrix), characterizing a single-input single-output (multi-input multi-output) system is submitted. The number of such free parameters defines the dimension of the space and a system with fixed parameters may be represented by a point in parameter space. If at least one coefficient varies about its nominal value, a region in parameter space is generated. This region characterizes a family of systems instead of one fixed system. When the coefficients vary independently of each other within specified compact intervals, an interval system is generated. The problem to be of very important for configuring intelligent vector information technologies and systems of data security with improved quality indices of the system concerning performance reliability, data protection, and speed transformation content. This project involves techniques using novel algebraic constructions based on vector combinatorial configurations, namely the concept of vector Ideal Ring Bundles (IRBs) [4] for development of the scientific basis for technologically optimum vector computer technologies as an alternative for quantum one.

Vector Ideal Ring Bundles

Let us regard the combinatorial properties of vector IRBs. Mathematical description of IRBs can be represented as sequences of n sets with t number sequences of the sequence. All vector terms in each modular vector sum to be elements of the cyclic sequence forming a grid of reference system of dimension t with a common reference point. In the case of 2D vector IRB, modulo m_1 and modulo sums m_2 are taken for appropriate integer of the sequence.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Example: Cyclic sequence $\{(1,2), (2,4), (1,3), (2,1)\}$ containing four ($n = 4$) 2D ($t = 2$) vectors $k_1 = (1,2)$, $k_2 = (2,4)$, $k_3 = (1,3)$, $k_4 = (2,1)$ generates ring sum of the vectors. Summation is modulo $m_1 = 3$ and modulo $m_2 = 5$ for each component of vector sum correspondently provides vector data processing three ($m_1 = 3$) categories of five ($m_2 = 5$) attributes under spatial reference system with reference grid $m_1 \times m_2 = 3 \times 5$ based on the 2D Ideal Ring Bundle $\{(1,2), (2,4), (1,3), (2,1)\}$ (Table 1).

Table 1. Vector data processing three ($m_1 = 3$) categories of five ($m_2 = 5$) attributes under spatial reference system with reference grid $m_1 \times m_2 = 3 \times 5$ based on the 2D Ideal Ring Bundle $\{(1,2), (2,4), (1,3), (2,1)\}$

No	Category index	Attribute index	Digit weights			
			(1,2)	(2,4)	(1,3)	(2,1)
1	0	0	1	1	1	1
2	0	1	1	1	0	0
3	0	2	0	1	1	0
4	0	3	1	0	0	1
5	0	4	0	0	1	1
6	1	0	0	1	0	1
7	1	1	1	0	1	1
8	1	2	1	0	0	0
9	1	3	0	0	1	0
10	1	4	1	1	1	0
11	2	0	1	0	1	0
12	2	1	0	0	0	1
13	2	2	1	1	0	1
14	2	3	0	1	1	1

At the same manner provides encoding big datasets of arbitrary content at any level of indexing by a priory infinitely large number of attribute categories. In general case the reference system formed by a vector IRB is reference grid of fixed sizes $m_1 \times m_2 \times \dots \times m_t$, which covers surface of a spatial manifold. A set of all node point's grid of the system created by summing minimized the set taking complex modulo $m_1, m_2, \dots, m_t$ to complete the reference system. The intelligent vector combinatorial systems theory discovers direct application of the underlying scientific approach for systems engineering design for development perspective researches in contemporary

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

information technologies, computing, electronics, robotics and telecommunication as an alternative to quantum ones.

References

1. Xiaochuang, Y., & Guoqing, Li. (2018). Big spatial vector data management: a review. *Big Earth Data*, (2.1), 108-129. <https://doi.org/10.1080/2096441.2018.1432115>
2. Bose, N.R.(2017). *Applied Multidimensional Systems Theory*. Springer Int. Publishing AG, Pensilvania State University State College.
3. Hall, M.Jr. (1998). *Combinatorial Theory*. Wiley-Interscience.
4. Riznyk V.V. (1989). *Syntezy optimalnykh kombinatornykh system* [Synthesis of the optimum combinatorial systems]. Lviv, Vyshcha shkola (in Ukrainian).

UDC 004.932:004.896

3D COMPUTER VISION SYSTEM FOR AUTOMATED WASTE GRASPING AND SORTING BY MOBILE ROBOTS

Ph.D., N. Boyko^[0000-0002-6962-9363]

*Lviv Polytechnic National University, Ukraine,
Lviv National Stepan Gzhytsky University of Veterinary Medicine and Biotechnology,
Ukraine*

EMAIL: Nataliya.i.boyko@gmail.com

СИСТЕМА 3D-КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЗАХОПЛЕННЯ ТА СОРТУВАННЯ ВІДХОДІВ МОБІЛЬНИМИ РОБОТАМИ

Ph.D., Н. Бойко

*Національний університет «Львівська політехніка», Україна,
Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій
імені С. З. Гжицького, Україна*

Анотація. Розроблено систему 3D-комп'ютерного зору для автономного захоплення та сортування відходів мобільними роботами в середовищі ROS 2. Запропоновано алгоритмічний підхід, який інтегрує нейромережеву детекцію YOLO із сенсором IntelRealSense D435. Застосування методу обертових каліперів для 3D-точкових хмар дозволяє визначати 6-DoF позу схвата маніпулятора. Результати експериментів підтвердили точність детекції

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

$mAP@0.5 = 95,6\%$, середній час обробки 13,7 мс та показник успішного захоплення 89,1%.

Ключові слова: 3D-комп'ютерний зір, маніпуляційне захоплення, YOLO, метод обертових каліперів, 6-DoF поза.

Abstract. A 3D computer vision system was developed for autonomous waste picking by mobile robots operating in ROS 2. The proposed method integrates YOLO neural network detection with spatial data from an Intel RealSense D435 camera. Applying the rotating calipers algorithm to 3D point clouds enables accurate 6-DoF grasp pose estimation. Experimental evaluations confirmed a detection accuracy of $mAP@0.5 = 95.6\%$, an inference speed of 13.7 ms, and an 89.1% grasp success rate.

Keywords: 3D computer vision, robotic grasping, YOLO, rotating calipers algorithm, 6-DoF pose.

Global waste generation approaching 2.4 billion tons highlights the critical need for autonomous mobile manipulators to replace hazardous manual sorting. To estimate 6-DoF grasp poses for deformed objects in real time, a multimodal vision system in ROS 2 combines single-stage YOLO neural architectures (>50 FPS) with 3D point cloud processing and the rotating calipers algorithm [1]. By modeling volumetric waste piles as stacked cuboids and predicting grasp parameters directly from Intel RealSense D435 RGB-D data, the system achieves an 88–95% Grasp Success Rate. Onboard processing is optimized on microcontrollers using lightweight backbones like MobileNet and CBAM, while Vision-Language-Action models enable semantic reasoning for complex geometries. Furthermore, occlusion-aware 3D point cloud algorithms ensure precise segmentation of individual overlapping items in dense piles, backed by models trained on an augmented TACO dataset encompassing over 1,500 images across 60 categories [2].

At the initial stage, the RGB frame $I \in \mathbb{R}^{H \times W \times 3}$ is processed by the YOLO neural network [3], which minimizes the localization loss function L_{Clou} to calculate the 2D bounding box $B = (x_c, y_c, w, h)$ (1):

$$L_{Clou} = 1IoU + \frac{\rho^2(b, b^{gt})}{c^2} + \alpha\nu, \quad (1)$$

where IoU is the intersection over union of the bounding boxes, $\rho(\cdot)$ is the Euclidean distance between the centers of boxes b and b^{gt} , c is the diagonal length of the smallest enclosing box covering both boxes, and ν measures aspect ratio consistency.

Using the obtained 2D coordinates [1], a depth matrix $D \in \mathbb{R}^{H \times W}$ is cropped. Each pixel (u, v) with depth $z = D(u, v)$ is converted into a 3D point cloud $P = \{(x_i, y_i, z_i)\}_{i=1}^N$ via the intrinsic parameters of the Intel RealSense camera

$$(f_x, f_y, c_x, c_y):$$

$$x_i = \frac{(u_i - c_x) \cdot z_i}{f_x}, y_i = \frac{(v_i - c_y) \cdot z_i}{f_y}. \quad (2)$$

After noise removal and voxel filtering, the point cloud P is discretized into K height layers along the Z -axis [1]. For each layer, a 2D convex hull $C_k = \text{ConvexHull}(P_k)$ is constructed using Graham's scan algorithm with $O(n \log n)$ time complexity.

Next, the rotating calipers method with $O(n)$ complexity is applied to find the minimum oriented bounding box OBB_k . By extruding OBB_k to the layer thickness Δz , a 3D cuboid is formed. To select the optimal picking point, the cuboids are analyzed top-down until the geometric condition for gripper finger opening is satisfied (3):

$$W_{cuboid} < W_{\max_grripper}. \quad (3)$$

The final 6D grasp pose is described by a homogeneous isometric transformation matrix $T \in SE$ (4) [3]:

$$T = \begin{bmatrix} R & t \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & x_g \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & y_g \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & z_g \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

where $R \in SO$ is an orthogonal rotation matrix formed by the eigenvectors of the $OB\bar{B}_k$ orientation, and $t = [x_g, y_g, z_g]^T$ is the spatial coordinate vector of the picking point.

Testing of the developed method was conducted in the ROS 2 (Humble) environment on Ubuntu 22.04 LTS. Neural network inference was optimized using NVIDIA TensorRT. The computing node was equipped with an Intel Core i5-11400 CPU, 48 GB RAM, and an NVIDIA GeForce GTX 1650 SUPER GPU. Physical evaluation was carried out using a two-finger binary gripper with a servo drive. The criterion for a successful pick was lifting and holding the object in the air for a duration of $t \geq 5$ s.

The Grasp Success Rate (GSR) was calculated as (5):

$$GSR = \frac{N_{success}}{N_{total}} \times 100\%. \quad (5)$$

A total of 100 test picks were performed for various waste categories in complex spatial orientations (See Table 1).

Table 1. Experimental metrics for detection accuracy, processing speed, and waste grasp success rate

Waste Category	Detection Accuracy mAP@0.5 (%)	Average Inference Time (ms)	Grasp Success Rate GSR (%)
Plastic bottles and rigid containers	96.8	12.4	94.0
Cardboard packaging and crumpled paper	95.2	13.1	90.0
Soft deformed films and bags	94.8	15.6	83.3
System Average	95.6	13.7	89.1

Experimental data confirm the high real-time efficiency of the proposed method: average detection accuracy reaches mAP@0.5 = 95.6%, with a frame processing time of 13.7 ms (exceeding 70 FPS). The highest grasp success rates (94.0%) were recorded for rigid objects with well-defined contours – plastic, bottles, containers. For soft and deformed materials, the GSR expectedly decreases to 83.3% due to unstable geometry and surface

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

compliance; however, the final average result of 89.1% fully meets the requirements for deployment in autonomous cleaning robots.

References

1. Wang, A., Jiao, H., Chen, Z., Yang, J. (2025). An Improved YOLO-Based Waste Detection Model and Its Integration to Robotic Gripping Systems. *Computers, Materials & Continua*, 84(3), 5773-5790. <https://doi.org/10.32604/cmc.2025.066852>
2. Chen, Z., Yang, J., Li, F., Feng, Z., Chen, L., Jia, L., et al. (2025). Foreign object detection method for railway catenary based on a scarce image generation model and lightweight perception architecture. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*. <https://doi.org/10.1109/tcsvt.2025.3567319>
3. Dube, S. S., Magotsi, M. N., & Dube, T. P. (2025). Autonomous litter collecting robot with integrated detection and sorting capabilities. *International Journal of Latest Technology in Engineering, Management & Applied Science*, 14(8). <https://doi.org/10.51583/IJLTEMAS.2025.1408000011>

UDC 681.5

**CHANNEL SUPPORT IN HYBRID CONTROL OF A ROBOTIC
SYSTEM**

Ph.D., A. Yarmilko^{1[0000-0003-2062-2694]}, **S. Marchenko**^{2[0000-0003-1655-3091]}

Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy, Ukraine

EMAIL: ¹a-ja@ukr.net, ²sv.marchenko1989@gmail.com

**КАНАЛЬНА ПІДТРИМКА В ГІБРИДНОМУ КЕРУВАННІ
РОБОТИЗОВАНОЮ СИСТЕМОЮ**

Ph.D., А. Ярмілко, С. Марченко

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, Україна

Анотація. Досліджено каналну підтримку як початковий рівень контекстного оцінювання в гібридному керуванні роботизованою системою. Базове свідчення поєднує оцінку стану, доступність даних і стандартну невизначеність. Після прив'язування до поточної керувальної дії релевантні складники формують ситуаційну оцінку та її довірчі межі. Серія модельних сценаріїв підтвердила відтворювану чутливість каналних профілів до домінуючих інформаційних обмежень.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

***Ключові слова:** гібридне керування, роботизована система, канална підтримка, доступність даних, невизначеність, сценарне моделювання.*

Abstract. *The study examines channel support as the initial layer of contextual assessment in hybrid robotic control. Base evidence combines state suitability, data availability, and standard uncertainty. Once bound to the current control action, relevant components form a situational estimate and its confidence bounds. A series of simulation scenarios confirmed reproducible sensitivity of channel profiles to dominant information constraints.*

Keywords: *hybrid control, robotic system, channel support, data availability, uncertainty, scenario-based simulation.*

In hybrid control, the informational significance of each channel is determined by the current control action. Navigation data are critical for spatial maneuvering, whereas remote operator involvement depends primarily on communication quality, update timeliness, and the operator's condition. A single integral indicator obscures both the source of the limitation and its contextual importance [1]. When correlations are unknown, conservative fusion is required [2]; operator workload [3] and missing or stale modalities [4] must also be considered separately.

The base evidence for channel C at discrete step k is defined as

$$Z_k^{c,0} = \left\langle S_k^{c,0}, a_k^c, u_k^{c,0} \right\rangle, \quad (1)$$

where Z denotes the channel evidence; S is the filtered conditional probability of satisfying the base requirement; a is data availability and freshness, accounting for delivery reliability and data age; and u is the standard uncertainty of the available support. The superscript 0 denotes an estimate that has not yet been associated with a specific control action.

Available support $\chi = S \cdot a$ is used to compare the channels. It is an auxiliary quantity representing the proportion of base support available from data that are both present and timely. Once a candidate action j has been selected, the uncertainty u is propagated to the uncertainties of the relevant semantic components. Spatial-visual, operator, communication, system-computing, and energy support form the contextual vector $X(j)$, from

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

which the probability of successful action execution is estimated according to (2).

$$\Sigma_k(j) = \sigma \left(\alpha_{0,g(j)} + \sum_{l \in L_j} \alpha_{l,g(j)} X_{k,l}(j) \right), \quad (2)$$

where Σ is the situational support for action j ; σ is the logistic function; L is the set of components required for this action; $X_l(j)$ is the value of component l ; and α are calibrated non-negative coefficients. Along with Σ , the model calculates the standard uncertainty U , accounting for parameter covariance and input uncertainties, as well as the diagnostic conflict measure, the minimum support of a critical component, and a separate binary condition of physical feasibility. The parameters of the probabilistic channel models, situational fusion, data freshness, and timing costs are identified in advance using an independent synthetic calibration sample and fixed before the scenario experiment. The lower and upper confidence bounds derived from Σ and U are compared against the reliability requirement.

A computational experiment comprising ten synthetic scenarios with ten independent runs each was conducted. The S0-S7 series covered nominal conditions, dominant communication degradation, operator overload, computing-resource scarcity, visual occlusion, an energy constraint, initiative conflict, and combined degradation. V1 and V2 simulated hazardous proximity and actuator failure under channel parameters close to nominal. Scenarios S1-S6 were not strictly single-factor because, together with the dominant disturbance, the background coefficients of other channels also varied. At each step, six χ values, the active control action, the situational estimate Σ , its uncertainty U , and the conflict measure were recorded. Figure 1 illustrates the sensitivity of available support to scenario-specific disturbances.

Communication degradation had the strongest effect on communication support and was accompanied by a change in the operator channel, whose update availability depends on communication. Operator overload produced the characteristic response of the operator component, computing-resource scarcity affected the system-computing component, and visual occlusion

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

affected the visual component. Combined degradation simultaneously weakened several of these components. Over the selected time interval, the energy scenario did not produce a distinct minimum in the corresponding support and therefore did not provide its targeted verification. The V1 and V2 profiles remained close to nominal, consistent with their purpose of verifying the physical safety response.

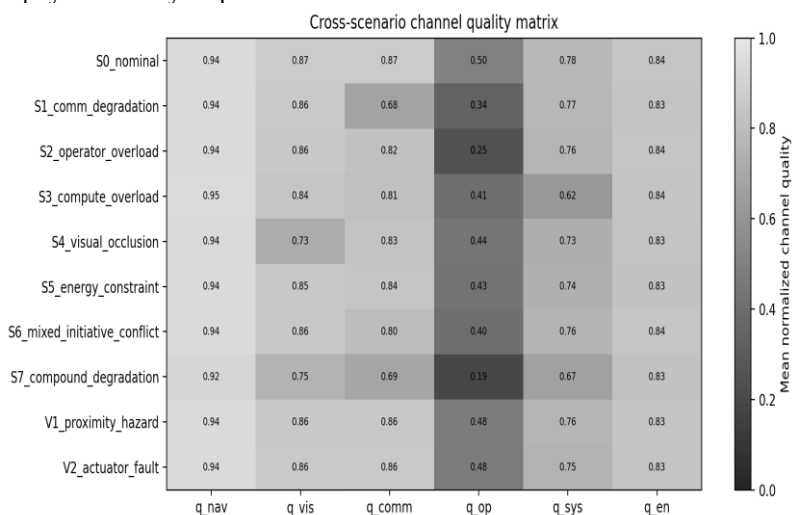


Figure 1. Matrix of mean available channel support across scenarios

The matrix characterises the input information state. Its subsequent interpretation depends on action j : a weak channel not included among the relevant components does not constrain the action's situational estimate, whereas a deficit in a critical component affects Σ , U , the confidence bound, and the diagnostic minimum. The experiment directly confirmed the reproducible formation of scenario-sensitive χ profiles and their suitability for subsequent contextual assessment. Separate verification of s , a , and u requires extended logging and an experimental design in which channel state, data age, and uncertainty are varied independently.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

References

1. Qian, H., Wang, M., Zhu, M., & Wang, H. (2025). A review of multi-sensor fusion in autonomous driving. *Sensors*, 25(19), 6033. <https://doi.org/10.3390/s25196033>
2. Julier, S. J., & Uhlmann, J. K. (1997). A non-divergent estimation algorithm in the presence of unknown correlations. *Proceedings of the 1997 American Control Conference*, 2369–2373. <https://doi.org/10.1109/ACC.1997.609105>
3. Charles, R. L., & Nixon, J. (2019). Measuring mental workload using physiological measures: A systematic review. *Applied Ergonomics*, 74, 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.08.028>
4. Wu, R., Wang, H., Chen, H.-T., & Carneiro, G. (2024). Deep multimodal learning with missing modality: A survey. *arXiv (Cornell University)*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2409.07825>
5. Yarmilko, A., & Marchenko, S. (2026). Conceptual model of hybrid control of robotic systems with delegation of authority. *Proceedings of the VIII International Scientific-Practical Conference "Information Technology for Education, Science and Technics" (ITEST-2026)*, 420–422. <https://doi.org/10.5281/zenodo.21843513>

UDC 004.93

**DEVELOPMENT OF A WEB APPLICATION FOR INTELLIGENT
ANALYSIS OF THE COMPOSITION OF COSMETIC PRODUCTS
USING OCR AND NLP ALGORITHMS**

Ph.D., A. Serhiienko^{1[0000-0003-1328-2572]}, **Ph.D., E. Balalayeva**^{2[0000-0003-1461-4399]},
A. Martynova^{3[0009-0002-6820-2250]}, **V. Suslov**^{4[0009-0009-5439-8310]}

^{1,2,3,4} Pryazovskyi State Technical University, Ukraine

E-MAIL: ¹invitery@i.ua, ²balalaevaeu@gmail.com,

³angelinaangelina531@gmail.com, ⁴suslov_v_m@pstu.edu

**РОЗРОБКА ВЕБЗАСТОСУНКУ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО
АНАЛІЗУ СКЛАДУ КОСМЕТИЧНИХ ЗАСОБІВ З
ВИКОРИСТАННЯМ АЛГОРИТМІВ OCR ТА NLP**

Ph.D., A. Сергієнко, Ph.D., О. Балаласєва, А. Мартинова, В. Суслов

ДВНЗ «Прийазовський державний технічний університет», Україна

***Анотація.** У статті представлено вебзастосунок, який автоматизує перетворення рядків складу етикеток косметичного аналізу у структуровані*

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

звіти про безпеку, використовуючи трирівневу клієнт-серверну архітектуру з REST API. Система інтегрує складний модуль OCR, що використовує ансамбль із трьох архітектур нейронних мереж, зокрема EasyOCR, Tesseract та TrOCR. Модуль аналізу NLP використовує бібліотеку RapidFuzz для нечіткого зіставлення рядків та семантичний фільтр машинного навчання на основі моделі ModernBERT.

Ключові слова: безпека косметики, вебзастосунок, OCR, NLP, номенклатура INCI.

Abstract. The paper presents an web application that automates the transformation of cosmetic analysis label composition strings into structured safety reports using a three-tier client-server architecture with REST API. The system integrates a sophisticated OCR module employing an ensemble of three neural network architectures, specifically EasyOCR, Tesseract, and TrOCR. NLP analysis module leverages the RapidFuzz library for fuzzy string matching and a semantic ML filter based on the ModernBERT-base model.

Keywords: cosmetic safety, web application, OCR, NLP, INCI nomenclature.

In recent decades, the global cosmetics market has experienced rapid growth, with thousands of new products being launched each year. From a technical point of view, the composition of a cosmetic product on a label is a continuous text string, in which the names of the ingredients are separated by commas. Today, the market offers both mobile applications focused on scanning barcodes and web platforms that work with text input.

Existing solutions divide into mobile scanners (Think Dirty [1], Yuka [2]) depending on barcodes and databases, and universal web analyzers (CosDNA [3], INCI Decoder [4]) requiring manual text input. A common drawback is the lack of automatic label text recognition, despite high user demand.

The aim of this work is to develop an intelligent system that reads the composition of products from images, identifies components by INCI nomenclature and provides an analytical report on potential health risks.

To solve the problem, a three-tier web application called Skipley was developed, supporting multi-variant data entry via camera, upload, manual text, or files, with automatic OCR.

At the data level, PostgreSQL stores users, ingredients, aliases, and scan results. SQLAlchemy handles connections, SQLite caches external queries for 7 days, and the app supports dev, prod, and test modes.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

At the business logic level, the Flask-based server implements a REST API, an AI-powered OCR module, and an NLP analysis engine utilizing RapidFuzz and ModernBERT-base for ingredient identification. The system supports PDF report generation and automatic ingredient database updates. Authentication is handled by Flask-Login with Werkzeug hashing, while auxiliary scripts manage database initialization and synchronization.

At the presentation level, the client part of the web application is created using HTML5, CSS3 and JavaScript. The client side interacts via REST API and features modules for camera/gallery input, manual text/file upload, user authorization, and a scan history with pagination and bulk operations.

The OCR ensemble combines EasyOCR (CRNN), Tesseract (LSTM), and TrOCR (Transformer), using early stopping to reduce processing time from 45 to 10–15 seconds without quality loss. An NLP analysis module has been implemented that performs multi-level cascade search for ingredients using the RapidFuzz library for fuzzy string comparison, integration with external APIs, and a semantic ML filter based on the pre-trained ModernBERT-base model.

In summary, the Skipley web application was developed for recognizing and analysing the composition of cosmetic products based on optical character recognition and natural language processing technologies.

References

1. A. P. Haykal, U. Suhud, M. Rizan, Consumer awareness and behavior toward the risks of harmful ingredients in skincare products: A thematic analysis in the digital era, *Siber International Journal of Digital Business* 2(4) (2025) 389–403. <https://doi.org/10.38035/sijdb.v2i4.230>.
2. B. Soutjis, The new digital face of the consumerist mediator: The case of the ‘Yuka’ mobile app, *Journal of Cultural Economy* 13(1) (2019) 1–18. <https://doi.org/10.1080/17530350.2019.1603116>.
3. B. L. Balakrishnan, M. Vinod, K. Siddhartha, M. Nagarjuna, Chemical composition analysis for skincare products, *International Research Journal on Advanced Engineering Hub* 3(04) (2025) 1952–1957. <https://doi.org/10.47392/IRJAEH.2025.0285>.
4. D. A. Mays, A. J. Friedman, J. Kennedy, J. A. Yiannias, J. A. Morgan, Non-adherence to labeling standards can misrepresent safety of ingredients in cosmetic cleansers, *Journal of Drugs in Dermatology* 22(1) (2023) 98–100. <https://doi.org/10.36849/JDD.5069>.

UDC 004.032.26

VERIFICATION-GUIDED PRUNING FOR SAFETY-CRITICAL LSTM NETWORKS

O. Mostovyi¹[0009-0006-6687-866X], **Ph.D., T. Biloborodova**²[0000-0001-7561-7484]

¹V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine, Ukraine,

²G.E. Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering of the NAS of Ukraine
Ukraine

EMAIL: ¹alex@mostovyi.net, ²beloborodova.t@gmail.com

ВЕРИФІКАЦІЙНО-КЕРОВАНЕ ПРОРІДЖУВАННЯ LSTM- МЕРЕЖ, КРИТИЧНИХ ДО БЕЗПЕКИ

О. Мостовий¹, Ph.D., Т. Білобородова²

¹Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України, Україна,

²Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова НАН України
Україна

Анотація. Запропоновано механізм верифікаційно-керованого проріджування LSTM-мереж. Замість проріджування з подальшою верифікацією метод інтегрує проріджування та верифікацію в циклі типу CEGAR. Кожен нейрон-кандидат вилучається за допомогою булевої маски, а формальний верифікатор визначає, чи задовольняє отримана маскована мережа задану властивість безпеки над обмеженою областю вхідних даних. Якщо контрприклад відсутній, крок проріджування приймається; інакше нейрон відновлюється. Підсумкова маска визначає стиснуту підмережу та засвідчену верифікатором класифікацію нейронів, необхідних для збереження властивості безпеки.

Ключові слова: проріджування нейронних мереж, верифікація LSTM, SMT, SAPLE, властивості поведінкової безпеки.

Abstract. This paper proposes a verification-driven pruning mechanism for LSTM networks. Instead of pruning first and verifying afterwards, the method integrates pruning and verification in a CEGAR-style loop. Each candidate neuron is tentatively removed by a Boolean mask, and a formal verifier is invoked to determine whether the resulting masked network still satisfies the specified safety property over a bounded input region. If no counterexample exists, the pruning step is accepted; otherwise, the neuron is restored.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Keywords: *neural network pruning, LSTM verification, SMT, SAPLE, behavioural safety properties.*

Introduction

Standard pruning techniques, including magnitude-based pruning, lottery-ticket-based pruning, and structural compression, primarily address the preservation of predictive accuracy under pruning. Magnitude-based pruning removes weights whose magnitudes fall below a specified threshold and typically retrains or fine-tunes the resulting network [1]. Lottery-ticket pruning identifies sparse subnetworks that can recover the original model's test accuracy when trained from their initial weights [2]. This paper addresses these limitations through a unified methodology by recasting pruning as a verifier-driven search procedure.

Methodology

Let N be a trained quantised LSTM controller with hidden width H , input dimension D , and bounded verification horizon T . Let P denote the behavioural safety property to be preserved, and let R denote the admissible input region. The objective is to construct a pruned sub-network N_m^* , represented by a binary mask $m^* \in \{0, 1\}^H$, such that $\forall x_{0:T} \in R, N_m^*(x_{0:T}) \models P$. The pruning procedure starts from the fully active mask $m = (1, \dots, 1)$. For a candidate neuron n , the algorithm temporarily sets $m_n = 0$ and invokes the verifier on the masked network N_m . Figure 1 summarises the pruning procedure.

The core of the method is the safety oracle. For each candidate neuron n , the oracle constructs a satisfiability query that combines four components (1):

$$\varphi = \varphi_{cell} \wedge \varphi_{region} \wedge \varphi_{mask}(n) \wedge \neg P. \quad (1)$$

Here, φ_{cell} encodes the bounded-horizon LSTM forward pass, φ_{region} encodes the admissible input region R , $\varphi_{mask}(n)$ encodes the tentative pruning decision $m_n = 0$, and $\neg P$ encodes the negation of the safety property.

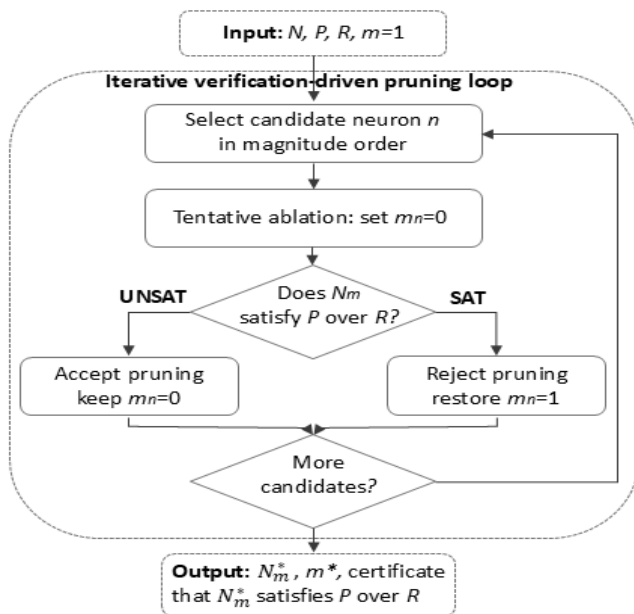


Figure 1. Verification-driven pruning loop

Results and discussion

The results are obtained on evaluation of encoding economy are presented in Table 1.

Table 1. LSTM cell encoding variants and SAPLE validation results

Variant	Encoding style	Transitions	Patterns	Parse	Analyse
lstm_cell.sbl	atomic, per state update	28	0	pass	pass
lstm_cell_loops.sbl	per-phase for-loops	15	0	pass	pass
lstm_cell_bits.sbl	per-phase loops with Bits(n) typing	15	0	pass	pass
lstm_cell_pruned.sbl	per-phase loops gated by m	15	2	pass	pass

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

The pruning-gated LSTM cell preserves a 15-transition structure across hidden widths and introduces pruning through a Boolean mask rather than through transition duplication. The resulting sub-network achieves 50% neuron-level compression in this toy setting while preserving the specified safety property under the final mask.

Conclusions

This paper presented a verification-driven, CEGAR-style pruning loop for safety-critical LSTM networks encoded in SPL. The resulting mask m^* has a dual role: it defines a compressed sub-network and provides a verifier-witnessed indication of which neurons are required to preserve the specified safety property.

References

1. Han, S., Pool, J., Tran, J., & Dally, W. J. (2015). Learning both weights and connections for efficient neural networks. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 28.
2. Frankle, J., & Carbin, M. (2019). The lottery ticket hypothesis: Finding sparse, trainable neural networks. *International Conference on Learning Representations (ICLR)*.

УДК 681.5:519.2

SYSTEM ANALYSIS AND MODELING OF CONTROL PROCESSES IN MULTI-AGENT COMPLEXES UNDER STOCHASTIC UNCERTAINTY

S. Seleznov^{1[0009-0005-2358-1375]}, **Dr.Sci., V. Vychuzhanin**^{2[0000-0002-6302-1832]}

Odesa Polytechnic National University, Ukraine

EMAIL: ¹Seryogka@ukr.net, ²v.v.vychuzhanin@op.edu.ua

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ І МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ КЕРУВАННЯ БАГАТОАГЕНТНИМИ КОМПЛЕКСАМИ В УМОВАХ СТОХАСТИЧНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

С. Селезньов, Dr.Sci., В. Вичужанін

Національний університет «Одеська політехніка», Україна

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

***Анотація.** Метою роботи є системний аналіз процесів керування багатоагентними комплексами в умовах стохастичної невизначеності. Запропоновано математичне представлення комплексу як сукупності взаємодіючих агентів зі змінними станами, керуючими впливами та випадковими збуреннями. Для дослідження запропоновано використовувати імітаційне моделювання та критерії ефективності, що враховують ресурсні обмеження, інформаційну взаємодію й випадкові зміни середовища. Підхід створює основу для подальшої розробки алгоритмів розподіленого керування.*

***Ключові слова:** багатоагентний комплекс, системний аналіз, моделювання, стохастична невизначеність, розподілене керування, автономний агент.*

Abstract. The study aims to provide a system analysis of control processes in multi-agent complexes under stochastic uncertainty. The complex is represented mathematically as a set of interacting agents with variable states, control actions, and random disturbances. Simulation modeling and performance criteria are proposed to account for resource constraints, information exchange, and random environmental changes. The approach provides a basis for further development of distributed control algorithms.

Keywords: multi-agent complex, system analysis, modeling, stochastic uncertainty, distributed control, autonomous agent.

Сучасні автоматизовані та робототехнічні системи все частіше будуються за багатоагентним принципом. Такий комплекс складається з автономних або частково автономних агентів, які виконують спільне завдання та обмінюються інформацією. Багатоагентний підхід застосовується у мобільній робототехніці, безпілотних системах, транспортних і виробничих комплексах. Його перевагами є розподіл функцій, гнучкість і можливість продовження роботи при зміні стану окремих елементів [1].

Реальні умови функціонування таких систем характеризуються невизначеністю. На процес керування впливають похибки вимірювань, випадкові зміни середовища, затримки передавання даних, нестабільність каналів зв'язку та обмежені ресурси агентів. Тому для аналізу багатоагентного комплексу необхідно враховувати не лише його структуру, а й випадковий характер зовнішніх та внутрішніх факторів.

З позицій системного аналізу багатоагентний комплекс можна подати як сукупність взаємопов'язаних агентів $A = \{A1, A2, ..., AN\}$, де N -

кількість агентів. Загальний стан комплексу визначається станами його елементів: $X(t) = \{x_1(t), x_2(t), \dots, x_N(t)\}$. Взаємодію агентів доцільно описувати також засобами теорії графів, де вершини відповідають агентам, а ребра - доступним інформаційним або функціональним зв'язкам [2].

Динаміку i -го агента в дискретному часі можна представити у вигляді $x_i(t+1) = f_i(x_i(t), u_i(t), X_i(t), \xi_i(t))$, де $u_i(t)$ - керуючий вплив; $X_i(t)$ - доступна інформація про інші агенти; $\xi_i(t)$ - випадкові збурення. Таке представлення дозволяє досліджувати як індивідуальну поведінку агента, так і результат спільної роботи комплексу.

Задача керування полягає у виборі таких дій агентів, які забезпечують досягнення спільної мети з урахуванням невизначеності та обмежень. Для оцінювання якості керування може застосовуватися очікуваний інтегральний критерій витрат, який враховує стани системи, керуючі впливи, час виконання завдання та використання ресурсів. Подібний підхід відповідає загальним принципам стохастичного та динамічного оптимального керування [3].

Отже, системний аналіз і моделювання дозволяють формалізувати процеси керування багатоагентними комплексами та враховувати стохастичну невизначеність, ресурсні обмеження й інформаційну взаємодію. Подальша робота передбачає побудову імітаційної моделі та проведення експериментів для визначення умов, за яких розподілені алгоритми забезпечують стійке й ефективне виконання спільного завдання.

Література

1. Wooldridge, M. (2009). An introduction to multiagent systems (2nd ed.). Wiley.
2. Mesbahi, M., & Egerstedt, M. (2010). Graph theoretic methods in multiagent networks. Princeton University Press.
3. Bertsekas, D. P. (2017). Dynamic programming and optimal control (4th ed.). Athena Scientific.
4. Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). Reinforcement learning: An introduction (2nd ed.). MIT Press.

УДК 681.5:519.83

**ANALYSIS OF CONFLICT ENVIRONMENTS AND RESOURCE
CONSTRAINTS IN STOCHASTIC CONTROL PROBLEMS**

D. Kobylanskyi^{1[0009-0005-3711-1438]}, **Dr.Sci., V. Vychuzhanin**^{2[0000-0002-6302-1832]}

Odesa Polytechnic National University, Ukraine

EMAIL: ¹dimak9041@gmail.com, ²v.v.vychuzhanin@op.edu.ua

**АНАЛІЗ КОНФЛІКТНОГО СЕРЕДОВИЩА ТА РЕСУРСНИХ
ОБМЕЖЕНЬ У ЗАДАЧАХ СТОХАСТИЧНОГО КЕРУВАННЯ**

Д. Кобилянський, Dr.Sci., В. Вичужанін

Національний університет «Одеська політехніка», Україна

***Анотація.** У роботі розглянуто основні особливості конфліктного середовища та обмежених ресурсів у задачах стохастичного керування. На основі аналізу наукових праць виділено основні види невизначеності та обмежень, що впливають на вибір керуючих рішень. Показано, що під час розробки алгоритмів необхідно одночасно враховувати зміни зовнішнього середовища, можливу протидію, кількість доступних ресурсів та їх витрати.*

Ключові слова: стохастичне керування, конфліктне середовище, обмежені ресурси, невизначеність, стохастична гра, прийняття рішень, оптимізація.

Abstract. The paper considers the main features of conflict environments and limited resources in stochastic control problems. Based on an analysis of scientific studies, the main types of uncertainty and constraints affecting control decisions are identified. It is shown that control algorithms should simultaneously consider changes in the external environment, possible opposition, available resources, and their consumption during task execution.

Keywords: stochastic control, conflict environment, limited resources, uncertainty, stochastic game, decision making, optimization.

Сучасні автоматизовані та автономні системи часто працюють в умовах, які неможливо повністю передбачити заздалегідь. Під час виконання завдання може змінюватися зовнішнє середовище, надходити неповна або неточна інформація, виникати перешкоди та обмеження. Крім того, на результат роботи системи можуть впливати дії інших учасників. Тому під час розробки системи керування необхідно враховувати не лише її поточний стан, а й можливі зміни умов роботи.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Особливий інтерес становить робота системи в конфліктному середовищі. Під таким середовищем можна розуміти умови, у яких досягненню поставленої мети можуть перешкоджати дії іншої сторони. При цьому поведінка іншої сторони заздалегідь повністю невідома і може змінюватися залежно від дій самої системи. Отже, результат керування залежить одночасно від випадкових факторів і дій учасників конфлікту.

Для опису подібних ситуацій використовуються методи стохастичних ігор. Вони дають змогу розглядати взаємодію кількох учасників, дії яких впливають на стан системи та кінцевий результат. Дослідження показують, що за наявності неповної інформації та обмежених ресурсів вибір стратегії одного учасника залежить від поведінки іншого учасника [1]. Для розробки алгоритмів керування важливо визначити основні фактори, що характеризують конфліктне середовище. У результаті проведеного аналізу можна виділити випадкову зміну стану зовнішнього середовища, неповну або неточну інформацію, наявність активної протидії та зміну умов роботи системи в часі.

Додатковою проблемою є обмеженість ресурсів. Практично будь-яка реальна система має певний запас енергії, обмежений час роботи, обчислювальні можливості та обмеження каналів зв'язку. Тому система не може постійно вибирати дії лише за критерієм максимальної ефективності. Необхідно також враховувати вартість цих дій з погляду використання наявних ресурсів.

Одним зі способів опису таких задач є марковські процеси прийняття рішень з обмеженнями - Constrained Markov Decision Processes (CMDP). У таких моделях система вибирає керуючі дії з урахуванням імовірності зміни свого стану. Крім основної мети, вводяться додаткові обмеження, наприклад на допустимі витрати енергії, часу або інших ресурсів [2]. Можна виділити кілька основних груп ресурсів: енергетичні, часові, інформаційні, обчислювальні та комунікаційні. Сучасні дослідження показують, що ресурсні обмеження можуть бути включені безпосередньо до математичної моделі прийняття рішень [3]. При цьому розробляються алгоритми, які дають змогу знаходити рішення, що забезпечує досягнення основної мети без

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

перевищення заданих обмежень [4]. Важливим результатом проведеного аналізу є висновок про те, що конфліктне середовище та обмежені ресурси не слід розглядати окремо. Витрати ресурсу на поточному етапі впливають на подальші можливості системи. В умовах конфлікту протидіюча сторона може своїми діями змушувати систему витратити додаткові ресурси.

Додаткова складність виникає через невизначеність майбутнього стану системи. Робастні CMDP дають змогу враховувати можливі помилки в описі переходів між станами та вибирати рішення, стійкіші до зміни умов роботи [5].

Проведений аналіз показує, що для розробки алгоритму оптимального стохастичного керування необхідно враховувати чотири основні складові: поточний стан системи, невизначеність зовнішнього середовища, можливі дії протидіючої сторони та кількість ресурсів, що залишилися. Подальше дослідження буде спрямоване на розробку моделі й алгоритму стохастичного керування, який зможе змінювати керуючі рішення залежно від цих факторів.

Література

1. Xing, W., Zhao, X., Başar, T., & Xia, W. (2022). Security investment in cyber-physical systems: Stochastic games with asymmetric information and resource-constrained players. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 67(10), 5384–5391. <https://doi.org/10.1109/TAC.2021.3116093>
2. Feinberg, E. A., Jaśkiewicz, A., & Nowak, A. S. (2020). Constrained discounted Markov decision processes with Borel state spaces. *Automatica*, 111, 108582. <https://doi.org/10.1016/j.automatica.2019.108582>
3. Jasso-Fuentes, H., & Prieto-Rumeau, T. (2024). Constrained Markov decision processes with non-constant discount factor. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 202, 897–931. <https://doi.org/10.1007/s10957-024-02453-y>
4. Li, T., Guan, Z., Zou, S., Xu, T., Liang, Y., & Lan, G. (2024). Faster algorithm and sharper analysis for constrained Markov decision process. *Operations Research Letters*, 54, 107107. <https://doi.org/10.1016/j.orl.2024.107107>
5. Varagapriya, V., Singh, V. V., & Lisser, A. (2024). Rank-1 transition uncertainties in constrained Markov decision processes. *European Journal of Operational Research*, 318(1), 167–178. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2024.04.023>

УДК 004.89:004.912

**CONTACTLESS CONTROL INTERFACES IN COMPUTER-
INTEGRATED ENVIRONMENTS BASED ON WI-FI SIGNAL
ANALYSIS**

O. Karatanas

Odesa Polytechnic National University, Ukraine

EMAIL: alekskaratanas@gmail.com

**БЕЗКОТАКТНІ ІНТЕРФЕЙСИ КЕРУВАННЯ В
КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ СЕРЕДОВИЩАХ НА ОСНОВІ
АНАЛІЗУ WI-FI СИГНАЛІВ**

О. Каратанас

Національний університет «Одеська політехніка, Україна

***Анотація.** Робота присвячена розробці методу екстремальної редукції розмірності CSI-даних для систем безконтактного жестового керування. Запропоновано пайплайн, що об'єднує фільтрацію перших різниць, дисперсійний відбір піднесучих та статистичну агрегацію. Експерименти на базі мікроконтролера ESP32 довели стиснення даних на ~99,77 % та досягнення точності ~90,75 % за часу інференсу 0,023 мс, що є оптимальним для Edge-систем.*

***Ключові слова:** Wi-Fi зондування, інформація про стан каналу, розпізнавання жестів, інтернет речей, редукція розмірності.*

***Abstract.** The paper is devoted to developing an extreme dimensionality reduction method for CSI data in contactless gesture control systems. A pipeline combining first-order difference filtering, variance-based subcarrier selection, and statistical aggregation is proposed. Experiments using the ESP32 microcontroller demonstrated 99.77% data compression and 90.75% accuracy with a 0.023 ms inference time, optimal for Edge systems.*

***Keywords:** Wi-Fi sensing, channel state information, gesture recognition, Internet of Things, dimensionality reduction.*

Розвиток комп'ютерно-інтегрованих технологій та систем розумного будинку вимагає впровадження нових людино-машинних інтерфейсів. Традиційні конвенційні сенсори, такі як відеокамери чи натільні пристрої, мають суттєві обмеження: вони порушують приватність

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

користувачів, залежать від умов освітлення та вимагають прямої видимості. Перспективною альтернативою є технологія безконтактного радіочастотного зондування, яка використовує існуючу телекомунікаційну інфраструктуру для виявлення рухів людини на основі аналізу інформації про стан каналу [1].

Проте впровадження інтелектуальних систем керування жестами на кінцевих Edge-пристроях, таких як популярні мікроконтролери ESP32, стикається з фундаментальною проблемою ресурсомісткості. Сира матриця CSI для одного жесту може містити понад 26000 ознак.

Подача такого масиву в класифікаційну модель спричиняє обчислювальний колапс через нестачу оперативної пам'яті та призводить до перенавчання моделі на статичному фоні приміщення Domain Shift [2].

Метою даної роботи є розробка комбінованого методу екстремальної редукції розмірності CSI-сигналів для забезпечення швидкого та точного розпізнавання жестів на малопотужних пристроях.

Для вирішення проблеми ресурсомісткості запропоновано триетапний алгоритмічний пайплайн попередньої обробки даних (FOD + VBS + SFE). На першому етапі застосовується метод перших різниць FOD вздовж часової осі пакетів. Це дозволяє усунути вплив відбиття радіохвиль від нерухомих об'єктів (стін, меблів) та виділити виключно динамічну складову руху об'єкта.

Оскільки не всі піднесучі частоти OFDM-каналу однаково чутливі до мікрорухів людини, на другому етапі застосовується адаптивний дисперсійний відбір VBS.

Для кожної піднесучої обчислюється її дисперсія у часовому вікні за формулою (1):

$$\sigma_k^2 = \frac{1}{T-1} \sum_{t=2}^T (D_{t,k} - \mu_k)^2 \quad (1)$$

де T — кількість часових відліків; $D_{t,k}$ — амплітуда диференційованого сигналу на k -й піднесучій; μ_k — математичне сподівання амплітуди. Алгоритм автоматично відбирає 15 піднесучих з максимальною варіативністю, відкидаючи інші як шумовий баласт.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

На третьому етапі SFE для усунення часової надмірності кожна з відібраних піднесучих описується вектором із чотирьох статистичних моментів: математичне сподівання, середньоквадратичне відхилення, максимум та мінімум. У результаті початкова матриця перетворюється на одновимірний вектор, розмірність якого становить лише 60 елементів.

Для оцінки ефективності розробленого методу було проведено експериментальне моделювання з використанням відкритого апаратного набору даних CSI-DATASET-ESP32 [4]. В якості класифікатора для систем керування обрано ансамблевий алгоритм Random Forest (100 дерев). Результати порівняння базового підходу (подача сирової матриці) та розробленого алгоритму наведено в Таблиці 1.

Таблиця 1. Порівняльний аналіз базового та запропонованого методів обробки CSI

Критерій оцінювання	Базовий метод (Raw Matrix)	Запропонований метод (FDO+ VBS + SFE)
Кількість ознак (на 1 жест)	26 000	60
Стиснення пам'яті	0%	~99.77 %
Точність розпізнавання	79.45 %	~90.75 %
Час інференсу	0.0902 мс	~0.0230 мс

Аналіз отриманих результатів доводить, що подача повного спектра піднесучих є надлишковою і створює обчислювальне “вузьке місце”. Застосування запропонованого комбінованого пайплайну дозволило стиснути об'єм даних на ~99,77 %. Відкидання апаратного шуму виконало роль природної регуляризації, що підвищило загальну точність класифікації керуючих жестів з 79,45 % до 90,75 % [6]. При цьому час логічного висновку скоротився до 0,0230 мс.

Підсумовуючи, запропонований гібридний метод обробки неконвенційних CSI-даних вирішує проблему масштабованості та ресурсомісткості в системах радіочастотного зондування. Надвисока швидкість інференсу та екстремальне стиснення простору ознак роблять цей алгоритм ідеальним базисом для створення Edge AI сенсорів у

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

системах розумних будівель, промислової автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологіях загалом.

Література

1. Ma, Y., Zhou, G., & Wang, S. (2019). WiFi sensing with channel state information: A survey. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 52(3), 1-36. <https://doi.org/10.1145/3310194>
2. Liu, J., Shi, X., & Qiu, R. C. (2025). DGAR: A Unified Domain Generalization Framework for RF-Enabled Human Activity Recognition. *arXiv preprint*, arXiv:2503.17667
3. Strohmayer, J., Wödlinger, M., & Kampel, M. (2024). Wiflexformer: Efficient wifi-based person-centric sensing. *arXiv preprint*, arXiv:2411.04224.
4. ESP32 CSI Human Activity & Fall Detection Dataset Collected by Students of Helwan International Technological University (HITU) <https://www.kaggle.com/datasets/x36mustafa/csi-dataset-esp32/data>
5. Koo, R., Liang, X., Mishra, D., & Seneviratne, A. (2026). A Survey on Green Wireless Sensing: Energy-Efficient Sensing via WiFi CSI and Lightweight Learning. *Energies*, 19(2), 573.
6. Zheng, Y., Zhang, Y., Qian, K., Zhang, G., Liu, Y., Wu, C., & Yang, Z. (2019). Zero-effort cross-domain gesture recognition with wi-fi. In *Proceedings of the 17th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services* (pp. 313-325). <https://doi.org/10.1145/3307334.3326079>

УДК 004.7

**ANALYSIS OF INTELLIGENT MODELS FOR THE SYNTHESIS OF
AUTOMATED RESOURCE MANAGEMENT SYSTEMS FOR IOT
NETWORKS**

V. Kiporuk⁰⁰⁰⁹⁻⁰⁰⁰¹⁻⁰⁶³⁸⁻²⁶⁸²

Odessa Polytechnic National University, Ukraine

EMAIL: kiporuk.vlad@gmail.com

**АНАЛИЗ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ СИНТЕЗА
АВТОМАТИЗОВАННЫХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ РЕСУРСАМИ
ІОТ-МЕРЕЖ**

В. Кіпору́к

Національний університет «Одеська політехніка», Україна

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

***Анотація.** У роботі виконано порівняльний аналіз оцінки моделей GNN-DRL, федеративне DRL та GCN-Transformer-RL для адаптивного, ефективного й масштабованого автоматизованого керування ресурсами IoT-мереж.*

***Ключові слова:** управління ресурсами, синтез інтелектуальних моделей*

***Abstract.** Comparative analysis evaluates GNN-DRL, Federated DRL and GCN-Transformer-RL for adaptive, efficient and scalable automated resource management in IoT networks.*

***Keywords:** IoT resource management, synthesis intelligent models*

The efficiency of modern IoT networks depends on the ability to allocate computing, communication and energy resources under rapidly changing workloads and network conditions [1]. Recent research increasingly applies graph neural networks [2], transformer architectures and federated reinforcement learning [1] to overcome the limitations of static and centrally trained resource management methods..

The aim of this paper is to determine the most suitable intelligent models for automated IoT resource management through comparative evaluation of their adaptability, computational efficiency and scalability.

The analysis focuses on three model classes that provide different mechanisms for processing spatial, temporal and distributed information. GNN-based reinforcement learning represents IoT devices and communication links as a graph and uses graph embeddings to support adaptive allocation decisions. This approach is effective when resource requirements depend strongly on network topology and interactions between neighbouring nodes. Recent research demonstrates that combining GraphSAGE with deep reinforcement learning improves resource allocation decisions while maintaining the possibility of distributed deployment.

Federated reinforcement learning distributes model training between edge participants and aggregates locally obtained model updates. This architecture is suitable for IoT environments with heterogeneous devices and privacy constraints because raw operational data remain at local nodes. A recent implementation combines federated learning with D4PG and hybrid BiLSTM-GRU-attention forecasting for dynamic resource allocation and task scheduling, demonstrating improved resource utilization, energy stability and

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

model performance compared with conventional reinforcement learning approaches.

The third class combines graph convolution, Transformer-based temporal modelling and reinforcement learning. Graph convolution extracts structural dependencies between IoT nodes, Transformer mechanisms identify temporal dependencies in resource demand, and reinforcement learning converts the resulting representation into adaptive allocation decisions. A recent DRANet-GCN+ architecture additionally incorporates adaptive metaheuristic optimization and graph partitioning to reduce computational overhead in resource-constrained environments.

The comparison (table 1) shows that GNN-DRL provides the most balanced architecture for topology-dependent resource allocation, while Federated DRL is preferable for geographically distributed systems with heterogeneous data sources. GCN-Transformer-RL offers the most comprehensive modelling of spatial and temporal dependencies but requires additional computational resources because of its multi-component architecture.

Table 1. Models comparison

Intelligent model	Adaptability	Computational efficiency	Scalability
GNN-DRL	High	High	High
Federated DRL	Very high	Medium	Very high
GCN-Transformer-RL	Very high	Medium	High

As a conclusion we can declaim, that the selection of a specific architecture should be determined by the required balance between network awareness, distributed learning, computational cost and scalability.

References

1. Ji M. Graph Neural Networks and Deep Reinforcement Learning-Based Resource Allocation for V2X Communications / M. Ji, Q. Wu, P. Fan et al. // IEEE Internet of Things Journal. – 2025. – Vol. 12, № 4. – P. 3613–3628.
2. Sagar A. S. Federated Reinforcement Learning-Based Dynamic Resource Allocation and Task Scheduling in Edge for IoT Applications / A. S. Sagar et al. // Sensors. – 2025. – Vol. 25, № 7.

SECTION 3. DIGITAL PLATFORMS, SECURITY, AND ICT
INFRASTRUCTURE

UDC 004.05

**PERFORMANCE METRICS-BASED EVALUATION OF TOOLS
FOR API CRUD LOAD TESTING**

M. Mendieliava¹[0009-0002-4282-3147], **Ph.D., S. Khlamov**²[0000-0001-9434-1081],

Ph.D., O. Vovk³[0000-0001-9072-1634], **T. Trunova**⁴[0000-0003-2689-2679],

S. Lytvynenko⁵[0009-0003-2632-9082]

^{1,2,3,4,5} Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine

EMAIL: ¹ mariia.mendieliava@nure.ua, ² (corresp.) sergii.khlamov@gmail.com,

³ oleksandr.vovk@nure.ua, ⁴ tetiana.trunova@nure.ua, ⁵ serhii.lytvynenko@nure.ua

**ОЦІНКА ІНСТРУМЕНТІВ ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ
НАВАНТАЖЕННЯ CRUD ЗА СТАНДАРТАМИ API НА ОСНОВІ
ПОКАЗНИКІВ ПРОДУКТИВНОСТІ**

**М. Менделєва, Ph.D., С. Хламов, Ph.D., О. Вовк, Т. Трунова,
С. Литвиненко**

Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна

***Анотація.** У роботі порівнюються продуктивність k6, JMeter та Postman для навантажувального тестування REST API за 4 різних профілів робочого навантаження. Для оцінки було використано локально розгорнутий застосунок Node.js, а час відгуку, споживання CPU та RAM було проаналізовано за допомогою ANOVA. Результати демонструють значний вплив інструменту та робочого навантаження на результати перформанс тестування. JMeter забезпечив найкращий час відгуку взагалом, k6 показав більшу ефективність використання ресурсів, а Postman може добре підійти для швидкого та легкого тестування продуктивності API.*

***Ключові слова:** тестування продуктивності, тестування навантаження, k6, Postman, JMeter, час відповіді, робоче навантаження.*

Abstract. This study compares k6, Apache JMeter, and Postman for REST API load testing under 4 different workload profiles. A locally deployed Node.js application was used, and response time, CPU, and RAM consumption were analyzed using two-way ANOVA. The findings demonstrate significant effects of tool and workload on performance test results. JMeter provided the best response time,

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

k6 showed greater resource efficiency, and Postman can be suitable for lightweight API performance testing.

Keywords: *performance testing, load testing, k6, Postman, JMeter, response time, workload.*

API performance is essential for reliable and scalable distributed systems [1], but evaluation results may vary depending on the testing tool and its execution mechanisms [2]. This is especially important for on-premise systems handling sensitive data, where realistic and efficient testing, together with adequate documentation and tool integration, is required, especially in conditions of remote and hybrid teamwork. This study compares k6, Apache JMeter, and Postman for REST API focusing on the effects of tool selection and workload profiles on overall and endpoint-level performance. k6 provides efficient JavaScript-based execution, JMeter supports diverse protocols and workloads with higher resource requirements, while Postman provides reusable API collections and predefined load profiles with more limited workload configuration.

A unified REST API workload was evaluated using k6, JMeter, and Postman under four load profiles (Ramp, Spike, Peak, and Fixed), with 10 independent runs per Tool $\times$ Load combination. Response time, CPU RAM consumption, workload, and error metrics were collected.

Two-way ANOVA assessed the effects of tool, load profile, and their interaction on performance metrics. Experiments on a locally deployed Node.js application with an embedded Better-SQLite3 database showed that both Tool and Load significantly affected average and p95 response time ($p < 0.001$, partial $\eta^2 > 0.6$). JMeter achieved the best response-time performance across most workloads, whereas k6 and Postman showed higher latency under high-load conditions (see Figure 1).

Endpoint-level analysis showed that performance varies by request type and workload, with JMeter showing the most stable performance for both read and write operations. The findings demonstrate that load testing tool selection significantly affects both performance and resource consumption. While JMeter provided the best response-time results and k6 showed better CPU efficiency but generally exhibited significantly higher response times for GET requests, and Postman required more resources overall, no tool was optimal across all workloads. Thus, load testing tool selection should

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

account for response time, resource consumption, and workload characteristics.

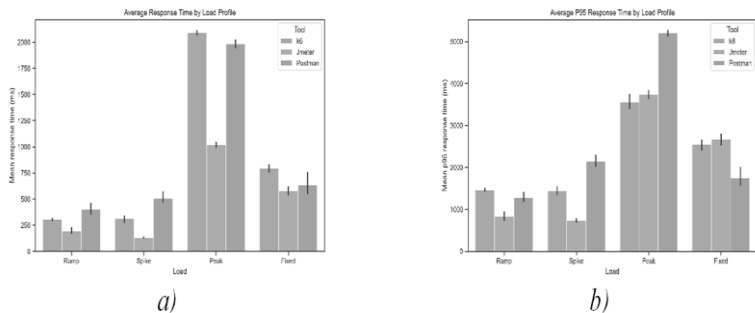


Figure 1. Mean response time: a) Average; b) p95 response time.

Figure 2 and resource consumption analysis showed that k6 showed advantages in CPU efficiency with higher memory consumption. Postman tool exhibited higher resource consumption across workload profiles.

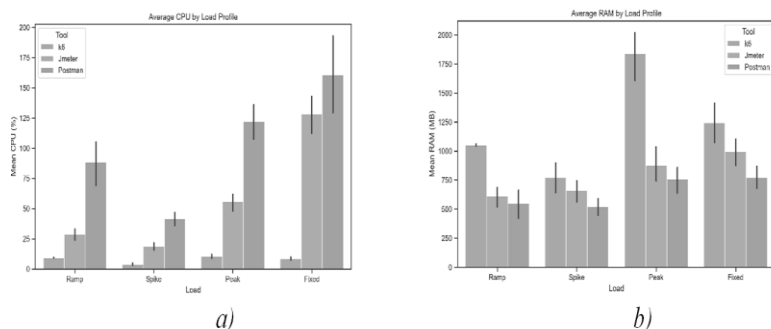


Figure 2. Average resources consumption by Load profile: a) CPU; b) RAM.

References

1. N. Li, J. Wang, C. Chen, H. Hu, Application of API automation testing based on microservice mode in industry software. *Proceedings of the International Conference on Algorithms, Software Engineering, and Network Security*, pp. 460-464, 2024.

2. M. Pinyagin, A. Sadovykh, Automating Performance Testing in CI/CD-Tools Evaluation. *Proceedings of the International Conference on Testing Software and Systems*, Cham: Springer Nature Switzerland, pp. 195-209, 2025.

UDC 003.26+004.021

A VIDEO STREAM ENCRYPTION ALGORITHM THAT DOES NOT PROPAGATE ERRORS

Dr.Sci., L. Kovalchuk^{1[0000-0003-2874-7950]}, **Dr.Sci., S. Hilgurt**^{2[0000-0003-1647-1790]},
Ph.D., H. Nelasa^{3[0000-0002-3708-0089]}

^{1,2,3} G.E. Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering of the NAS of
Ukraine, Ukraine

EMAIL: ¹lusi.kovalchuk@gmail.com, ²hilgurt@ukr.net, ³annanelasa@gmail.com

АЛГОРИТМ ШИФРУВАННЯ ВІДЕОПОТОКІВ, ЯКИЙ НЕ РОЗПОВСЮДЖУЄ ПОМИЛКУ

Dr.Sci., Л. Ковальчук, Dr.Sci., С. Гільгурт, Ph.D., Г. Неласа

*Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України,
Україна*

Анотація. Представлено спрощений алгоритм шифрування для тимчасового (від годин до днів), захисту відеопотоку БПЛА (безпілотних літальних апаратів) в середовищах з обмеженими ресурсами. Використовуючи залежні від ключа перестановки пікселів на основі модульної арифметики, схема забезпечує нерозповсюдження помилок. Використовуючи попередньо обчислені таблиці пошуку замість скорочень по модулю, досягається складність $O(mn)$, обробляючи кадри менш ніж за 0,3 секунди з мінімальною допоміжною пам'яттю (<1000000 біт). В дослідженні оцінюється також криптографічна стійкість запропонованого алгоритму.

Ключові слова: шифрування відеопотоку, безпілотні літальні апарати, малоресурсна криптографія, нерозповсюдження помилок, модульна арифметика

Abstract. This paper presents a lightweight encryption algorithm for temporary (hours to days) UAV (unmanned aerial vehicle) video stream protection in resource-constrained environments. Using key-dependent pixel permutations based on modular arithmetic, the scheme ensures error non-propagation. By utilizing precomputed lookup tables instead of modulo reductions, it achieves $O(mn)$

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

complexity, processing frames in under 0.3 seconds with minimal auxiliary memory (<1000000 bits). The study also evaluates the cryptographic resistance of the proposed algorithm.

Keywords: *video stream encryption, unmanned aerial vehicles, lightweight cryptography, error non-propagation, modular arithmetic*

UAV video encryption is constrained by delay, RAM, energy consumption, and channel errors. AES-based solutions demonstrate real-time protection on selected platforms [1], but do not directly combine temporary security with pixel-level error localization. Following the setting of [2], the proposed design targets a total encryption/decryption time below 0.3 s per frame and auxiliary memory below 10^6 bits, excluding the image buffer. It only permutes pixel values; therefore, under byte-preserving transmission, corruption of one ciphertext byte can alter at most one decrypted pixel. This property is separate from cryptographic security.

In this study, a lightweight (low-resource) algorithm with temporary security (hours to days), designed for encrypting rectangular images, was developed. It possesses the following properties.

1. No error propagation. If distortions occur in the communication channel during ciphertext transmission and certain bytes are received incorrectly, the number of corrupted bytes will not increase upon decryption.

2. High processing speed. The encryption and decryption time does not exceed 0.3 seconds.

3. Low memory footprint. The memory required to implement this algorithm does not exceed 10^6 bits (excluding the memory needed to store the image itself).

4. The algorithm provides temporary cryptographic resistance, ranging from 2 hours to several days, depending on the operational tasks and the adversary model.

The proposed permutation has $O(mn)$ complexity, low auxiliary memory, and localizes ciphertext-byte errors in the stated frame model. The present assessment provides only preliminary brute-force bounds; statistical, known-plaintext, chosen-plaintext, and structural attacks, as well as tests on real UAV hardware, remain future work.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

This study was supported by the National Research Foundation of Ukraine, Project No. 2025.07/0204, state registration No. 0125U003164.

References

1. Cecchinato N. et al., A Secure Real-Time Multimedia Streaming through Robust and Lightweight AES Encryption in UAV Networks. *Procedia Computer Science* 205 (2022) 50–57. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.09.006>.
2. Kovalchuk L. et al., Development of an Algorithm with Temporary Cryptographic Security for Encrypting Video Stream from an Unmanned Aerial Vehicle. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* 5(9(137)) (2025) 41–53. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.340917>.

UDC 378.147:004.77:656.61

**THE USE OF DIGITAL COLLABORATION TO IMPROVE THE
COMMUNICATIVE SKILLS OF MARINE ENGINEERS IN
REMOTE, NETWORK-BASED ENVIRONMENT**

Dr. Sci., A. Yurzhenko^{1[0000-0002-6560-4601]},
Dr.Sci., L. Perminova^{2[0000-0002-6818-3179]}, **O. Kononova**^{3[0009-0007-1386-6590]}

¹*Kherson State Maritime Academy, Ukraine,*

²*Kherson State university, Ukraine,*

³*Maritime Applied College of Kherson State Maritime Academy, Ukraine*

EMAIL: ¹mz@ksma.ks.ua, ²lperminova@ksu.ks.ua, ³konon2017@ukr.net

**ЦИФРОВА ВЗАЄМОДІЯ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ
КОМУНІКАТИВНИХ НАВИЧОК СУДНОВИХ МЕХАНІКІВ У
ДИСТАНЦІЙНОМУ МЕРЕЖЕВОМУ СЕРЕДОВИЩІ**

Dr. Sci., A. Юрженко¹, **Dr. Sci., Л. Пермінова**², **О. Кононова**³

¹*Херсонська державна морська академія, Україна,*

²*Херсонський державний університет, Україна,*

³*Морський фаховий коледж Херсонської державної морської академії,
Україна*

***Анотація.** Дослідження присвячене аналізу цифрових інструментів під час дистанційного навчання майбутніх судномеханіків, зокрема під час вивчення морської англійської мови. Підкреслюється, що технології цифрової взаємодії у мережесевих освітніх середовищах роблять навчання більш інтерактивним,*

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

знучким та адаптованим до вимог морської галузі. Дослідження показало позитивний вплив комунікативних заходів на основі симуляції та спільних завдань на формування комунікативної компетентності майбутніх моряків. Було доведено, що цифрова взаємодія сприяє модернізації морської освіти та відповідає сучасним процесам цифровізації.

Ключові слова: морські фахівці, комунікативна компетентність, Zoom, LMS Moodle, цифровізація, дистанційне навчання

Abstract. *The paper is devoted to the analysis of digital tools while remote learning of future mariners. It is highlighted that digital collaboration technologies in remote, network-based learning environments make education more interactive, flexible and adapted to marine industry demands. The research has shown positive impact of simulation-based communication activities on the formation of communicative competence. It was proved that digital collaboration supports the modernization of maritime education and corresponds to current processes of digitalization.*

Keywords: *maritime professionals, communicative competence, Zoom, LMS Moodle, digitalization, remote learning*

The current state of maritime education is characterised by an active process of digitalisation, modernisation of professional training and reform in accordance with international requirements and standards. In the conditions of modern development of the maritime industry, the training of future seafarers requires the introduction of innovative technologies, digital platforms, distance learning and modern simulation systems.

According to the results of the Annual Report and Statements of the International Association of Maritime Universities, Liaison Committee for the Fiscal Year 2025 digitalization and smart technologies should be used for sustainability in maritime operations [1]. The purpose of the research is to analyse ways to use digital tools to improve ship engineers' skills during distance learning. Moodle is one of the most widely used learning management systems (LMS) in modern education and plays an important role in organising remote and network-based learning environments in maritime education. The platform provides opportunities for managing educational materials, organising online courses, monitoring students' progress, and supporting synchronous and asynchronous communication between instructors and cadets [2, 3, 4].

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

The use of digital collaboration technologies in remote, network-based learning environments positively influences the development of communicative skills of future marine engineers. The integration of platforms such as Moodle, Zoom, and Google Docs contributes to improving professional interaction, teamwork, Maritime English communication, and digital competence of cadets.

The conducted research demonstrates that collaborative online learning, virtual teamwork, simulation-based communication activities, and interactive digital tools create favorable conditions for the development of communicative competence in modern maritime education. The use of synchronous and asynchronous communication technologies enables cadets to participate in professional discussions, solve collaborative tasks, exchange ideas, and practice communication in situations close to real maritime professional environments.

The study also confirms that digital collaboration supports the modernization of maritime education and corresponds to current processes of digitalization and educational reform. Online communication platforms and AI-supported tools promote flexibility, accessibility, student-centered learning, and professional adaptation of future marine engineers to technologically advanced and multinational working environments.

References

1. Annual Report and Statements of the IAMU Liaison Committee for the Fiscal Year 2025' (2025) International Association of Maritime Universities Secretariat., p. 84.
2. Satriani, M. Zaim, E. Ermanto, E-learning moodle, Linguistics and Culture Review. 5 (2021) 1521–1532. <https://doi.org/10.21744/lingcure.v5ns2.2010>.
3. O.I. Vaganova, Assessment tools in e-learning Moodle, International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering, 9 (2020) 2488–2492. <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/01932020>.
4. C. Alonso-Fernández, J.L. Jorro-Aragoneses, C.M. Alaíz, P. Rodríguez, Learning Analytics Tools to Analyze Progress and Results With Moodle LMS Data, in: institute of electrical electronics engineers, 2024: pp. 01–07. <https://doi.org/10.1109/educon60312.2024.10578707>.

UDC 004.056.5

HIERARCHICAL STRUCTURE OF A DIGITAL IMAGE AS A BASIS FOR STEGANOGRAPHIC COVER BLOCK SELECTION

Dr.Sci., I.Bobok^{1[0000-0003-4548-0709]}, **Ph.D., S. Hryhorenko**^{2[0009-0006-4551-8243]}

Odesa Polytechnic National University, Ukraine

EMAIL: ¹onu_metal@ukr.net, ²sngrygorenko@gmail.com

ІЄРАРХІЧНА СТРУКТУРА ЦИФРОВОГО ЗОБРАЖЕННЯ ЯК ОСНОВА ДЛЯ ВИБОРУ БЛОКІВ-КОНТЕЙНЕРІВ У СТЕГАНОГРАФІЇ

Dr.Sci., І. Бобок, Ph.D., С. Григоренко

Одеський політехнічний національний університет, Україна

Анотація. Метою цього дослідження є вдосконалення процесу вибору блоків зображення-контейнера для підвищення ефективності стеганографічної системи. Ефективність оцінюється за допомогою метрики візуальної якості стеганоповідомлення — пікового співвідношення сигнал/шум (PSNR). Найбільш значущим результатом роботи є розроблення ієрархічної структури зображення на основі введеного строгого порядку бінарного відношення, визначеного на множині блоків зображення, яке відображається у спрямований зважений граф. Використання цього графа підвищує ефективність стеганографічної системи на 2,7 %. Запропонована ієрархічна структура контейнера є універсальним інструментом для реалізації довільної мети вибору.

Ключові слова: перцептивна надійність стеганоповідомлення, цифрове зображення, ієрархічна структура, спрямований зважений граф, бінарне відношення.

Abstract. The objective of this study is to refine the cover image block selection process to enhance the efficiency of the steganographic system. Efficiency is evaluated using the visual quality metric of the stego-message – the peak signal-to-noise ratio (PSNR). The most significant result of this work is the development of a hierarchical image structure based on an introduced strict order binary relation defined over the set of image blocks, which is mapped to a directed weighted graph. Utilizing this graph increases the steganographic system's efficiency by 2.7%. The proposed hierarchical cover structure serves as a versatile tool for achieving an arbitrary selection objective.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Keywords: *perceptual reliability of the stego-message, digital image, hierarchical structure, directed weighted graph, binary relation.*

Under conditions of hybrid conflict, where information systems become the primary target, ensuring their information security and cyber defense relies not only on the reliability of data encryption, but also on concealing the very fact of its existence. In the context of critical infrastructure, steganography emerges as a vital and highly relevant defense tool [1]: when an adversary cannot detect the communication channel, they can neither attack nor block it. Enhancing the steganographic system to improve the visual quality of the generated stego-message is a vital component for fault-tolerant control systems capable of operating under conditions of direct digital aggression – to which Ukraine is currently continuously subjected – and represents an urgent task in information security. Hierarchy is one of the most general classification methods utilized by humans, and hierarchical structures are effectively employed to model real-world processes across various domains of human activity. *The objective* of this study is to enhance the efficiency of the steganographic system by refining the selection process for digital cover image blocks most suitable for steganographic transformation – independently of the steganographic method used for embedding additional information (AdInf) – based on the development and subsequent utilization of a hierarchical digital image (DI) structure.

The efficiency of the steganographic system in this study is evaluated using a quantitative visual quality metric of the generated stego-message – the peak signal-to-noise ratio (PSNR) [2].

The objective of the study was achieved by addressing the following tasks: developing a hierarchical digital image structure taking into account its domain of further application, and establishing the principles for constructing a graph corresponding to this hierarchical DI structure.

As a result of this study: a hierarchical DI structure was developed based on the strict order binary relation “consists of” defined over the set of image blocks, establishing its partial ordering. This hierarchical DI structure enables an in-depth analysis of individual block properties to select priority cover subregions for AdInf embedding by examining their internal components; principles were established for constructing a directed

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

weighted graph corresponding to the hierarchical DI structure. This graph allows for block selection for steganographic transformation through both top-down and bottom-up structural analysis. Consequently, relatively large blocks – whose participation in steganographic transformation is undesirable – can be excluded at early levels of the hierarchy, effectively reducing the “search space” and lowering the computational cost of selection; the proposed hierarchical DI cover structure and its corresponding graph – which enable coarse selection followed by subsequent “refinement” – serve as a versatile tool for achieving an arbitrary selection objective, as reflected by the weight coefficients of the graph vertices; utilizing the hierarchical structure graph to select DI cover blocks with the specific objective of ensuring (relatively) high visual quality of the stego-message improved the quantitative distortion metric (PSNR) of the cover resulting from steganographic transformation by 2.7% compared to selection based on fixed block partitioning, regardless of the specific transformation method employed.

References

1. M.A. Bamanga, A.K. Babando, M.A. Shehu, Recent Advances in Steganography, in J. Mayer (Ed.), Steganography – The Art of Hiding Information, IntechOpen, 2024. doi: 10.5772/intechopen.1004521
2. G. Konakhovich, D. Progonov, O. Puzyrenko, Steganographic Processing and Analysis of Multimedia Data, Center for Educational Literature, 2018.

UDC 004.85:004.056:656.61

**SIMULATION-BASED ASSESSMENT OF DATA VERIFICATION
EFFECTS ON THE ROBUSTNESS OF ADAPTIVE MARITIME
ROUTE OPTIMISATION AGAINST SPOOFING ATTACKS**

P. Kalenyk¹[0009-0006-3534-1798], Dr.Sci., V. Vychuzhanin²[0000-0002-6302-1832]

Odesa Polytechnic National University, Ukraine

EMAIL: ¹pavlo.kalenyk@gmail.com, ²v.v.vychuzhanin@op.edu.ua

**СИМУЛЯЦІЙНА ОЦІНКА ВПЛИВУ ВЕРИФІКАЦІЇ ДАНИХ НА
СТІЙКІСТЬ АДАПТИВНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ МОРСЬКИХ
МАРШРУТІВ ДО СПУФІНГ-АТАК**

П. Каленик, Dr.Sci., В. Вичужанін

Національний університет «Одеська політехніка», Україна

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

***Анотація.** Проведено власне симуляційне дослідження впливу спуфінгу навігаційних даних на адаптивну маршрутизацію морських суден та ефективності консенсусної перевірки джерел. На розробленій авторами синтетичній моделі (500 випробувань) спуфінг підвищив вартість маршруту на 16,9% і частоту заходу в небезпечні зони до 47,4%. Перевірка трьома джерелами знизила ці показники до 4,0% і 18,6%, компенсавши 76% впливу атаки. Вперше отримано кількісну оцінку ефекту верифікації даних для цієї задачі.*

***Ключові слова:** адаптивна маршрутизація, спуфінг даних, верифікація даних, кібербезпека, хмарні обчислення, морський транспорт, симуляційне моделювання.*

Abstract. We conducted our own simulation study quantifying how spoofed navigational data affects adaptive maritime routing and how multi-source consensus verification mitigates it. On our synthetic testbed (500 trials), spoofing raised route cost by 16.9% and hazard-zone entries to 47.4%. Consensus verification across three sources reduced these to 4.0% and 18.6%, recovering about 76% of the spoofing-induced degradation — the first quantitative measurement of this effect for adaptive maritime routing.

Keywords: adaptive route optimization, data spoofing, data verification, cybersecurity, cloud computing, maritime transport, simulation study.

Introduction. Maritime transport carries over 80% of global trade, and fuel costs can reach 60% of operating expenses [1]. Adaptive cloud-based routing increasingly relies on live AIS, weather and current data, yet these channels are exposed to spoofing and cannot be treated as trustworthy without verification [2].

Goal of the work. To quantify, in our own controlled simulation, how much spoofed navigational data degrades an adaptive maritime routing agent, and how much of this degradation a multi-source consensus check recovers — extending our previously validated PPO-based routing method [3] and the NIST Zero Trust verification principle [4] with a first empirical measurement of this specific effect.

Main part. We generated a synthetic 30×30 grid sea area with a smooth weather/current cost field and hazard zones on 6% of cells (fixed random seed for reproducibility). We implemented a lightweight rule-based routing agent - a fast stand-in for our PPO agent, chosen here for rapid controlled experimentation rather than full retraining - that replans locally at every

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

step, moving to the neighbouring cell with the lowest reported cost that reduces distance to the destination. We ran three conditions over 500 independent trials each: clean data; corrupted data, with 15% of readings spoofed (a hazard hidden as clear, or a false hazard fabricated); and consensus-verified data, where every reading is the median of three independent reports.

With clean data, the agent reached the destination in 100% of trials, with zero hazard entries and a mean true path cost of 57.2 units. Spoofing raised the mean cost by 16.9% and produced hazard-zone entries in 47.4% of trials. Consensus verification cut the cost increase to 4.0% and the hazard-entry rate to 18.6%, recovering about 76% of the cost degradation caused by spoofing. These figures give the first quantitative measurement, for this routing setup, of how much a simple data-verification layer is worth.

Conclusions. Our simulation shows that unverified spoofed data measurably degrades route quality and safety, while a simple multi-source consensus check recovers most of that loss. This is our first empirical result toward a secure adaptive routing system; next we plan to repeat the experiment on the full PPO agent with real AIS and weather traces, and to extend it to multi-agent fleet-level routing.

References

1. Statista. (2025). Shipping around the world – statistics and facts. <https://www.statista.com/topics/1728/ocean-shipping>
2. Zissis, D., & Lekkas, D. (2012). Addressing cloud computing security issues. *Future Generation Computer Systems*, 28(3), 583–592. <https://doi.org/10.1016/j.future.2010.12.006>
3. Kalenyk, P. I., & Vychuzhanin, V. V. (2026). Reinforcement learning for adaptive optimisation of maritime vessel routes in cloud-based distributed systems. In *Modern Information Technology – 2026: Proceedings of the XVI International Scientific Conference of Students and Young Scientists* (pp. 109–111). Odesa Polytechnic National University, Institute of Computer Systems. <https://doi.org/10.5281/zenodo.20793311>
4. Rose, S., Borchert, O., Mitchell, S., & Connelly, S. (2020). Zero trust architecture (NIST Special Publication 800-207). National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-207>

UDC 004.4:004.8

INVESTIGATING THE EFFECT OF EXPLANATIONS ON TRUST IN AI DURING AUTOMATED CODE REVIEW

V. Petrenko¹[0009-0001-7425-4682], Dr.Sci., O. Gurko²[0000-0001-9905-8584]

Kharkiv National Automobile and Highway University, Ukraine

EMAIL: ¹vitalii4reva@gmail.com, ²gurko@khadi.kharkov.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОЯСНЕНЬ НА ДОВІРУ ДО ШІ ПІД ЧАС АВТОМАТИЗОВАНОГО РЕЦЕНЗУВАННЯ КОДУ

B. Петренко, Dr.Sci., O. Гурко

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

Анотація. Для дослідження впливу структурованих пояснень на довіру розробників та належне покладання на рекомендації ШІ під час автоматизованого рецензування коду розроблено та інтегровано у розширення Git AutoReview пояснювальний шар інтерфейсу. Результати пілотного контрольованого внутрішньособ'єктного експерименту показали, що пояснення не підвищили довіру або загальний показник належного покладання, але зменшили недостатнє та збільшили надмірне покладання.

Ключові слова: великі мовні моделі, автоматизоване рецензування коду, пояснювальний ШІ, довіра до ШІ, належне покладання на ШІ.

Abstract. To investigate the effect of structured explanations on developers' trust in and appropriate reliance on AI recommendations during automated code review, an explanation layer for the human-AI interface was developed and integrated into Git AutoReview. Results from a controlled within-subjects pilot experiment showed that explanations did not increase trust or overall appropriate reliance; however, they reduced under-reliance while increasing over-reliance.

Keywords: large language models, automated code review, explainable AI, trust in AI, appropriate reliance on AI.

Code quality assurance is essential for all software, including software for embedded control systems, where errors can threaten human safety. Therefore, ISO 26262 and MISRA C:2025 establish code verification requirements, yet manual verification cannot keep pace with growing software complexity. LLM-based code review can address this challenge, but its adoption is hampered by developer distrust: up to 70% of surveyed C++ developers do not trust AI because of its "black-box" nature and risk of "hallucinations" [1]. XAI may improve transparency, but the impact of explanations on developers' code review behavior remains insufficiently studied. This study aims to enhance developers' appropriate reliance on

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

automated code review recommendations by developing and empirically evaluating an explanation layer for the human-AI interface.

To achieve this goal, a pilot version of this layer was developed and integrated into the Git AutoReview extension for Visual Studio Code. The layer follows a two-level template [2]. The first level, visible by default, includes the title, severity, fix suggestion, confidence score (0 – 100), and a brief explanation. The on-demand second level adds references to rules and guidelines, alternative fixes and their trade-offs, and project-context citations. The explanations were generated by Claude 3.5 Sonnet using chain-of-thought prompting and RAG. Review findings were pregenerated to provide identical stimuli, eliminate LLM variability across participants, and record the generation parameters for each finding. The interface also omitted model and brand names to reduce participant bias.

Three hypotheses were formulated to empirically evaluate the explanation layer: an increase in developers' trust (H1), an improvement in appropriate reliance (H2), and an effect on decision-making time (H3). A controlled within-subjects experiment involved eight professional developers with at least six years of experience who regularly perform code reviews. Each participant evaluated review findings under baseline and explanation conditions. Deterministic SHA-256 hashes provided reproducible counterbalancing of conditions and scenarios. H1 and H2 were tested one-sided ($B > A$), whereas H3 was tested two-sided; effect sizes were estimated using Cohen's d_z and rank-biserial r . None of the three hypotheses was supported (Table 1). However, under-reliance decreased from seven to three cases, while over-reliance increased from four to six. No significant difference in decision-making time was found, although six of eight participants made decisions faster with explanations.

Table 1. Hypothesis testing results

Hypothesis	Median A	Median B	Wilcoxon test	Effect size
H1. Trust (1–7)	5.58	3.50	$W = 13.0; p = 0.77$	$r = -0.25;$ $d_z = -0.29$
H2. Appropriate reliance (rate)	0.83	0.83	$W = 17.0; p = 0.34$	$r = +0.14;$ $d_z = +0.15$
H3. Decision- making time, s	149	141	$W = 8.0; p = 0.20$	$r = -0.50;$ $d_z = -0.51$

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

The findings are consistent with viewing XAI as a means of calibrating rather than simply increasing trust. Explanation interfaces should account for the risk of making incorrect recommendations more persuasive and encourage developers to verify AI outputs. Given the pilot nature of the study, these findings require validation with a larger sample.

References

1. Standard C++ Foundation, "Results summary: 2026 Annual C++ Developer Survey 'Lite,'" May 4, 2026. [Online]. Available: <https://isocpp.org/blog/2026/05/2026-survey-summary>.
2. R. Ye, Z. Zhang, B. Almazroua, and M. Liut, "Beyond autocomple: Designing CopilotLens towards transparent and explainable AI coding agents," arXiv:2506.20062, 2025, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2506.20062>.

UDC 004.056.5:004.75

SEQUENTIAL INTEGRITY VERIFICATION MECHANISM FOR DIGITAL TWIN TELEMETRY BASED ON CRYPTOGRAPHIC PACKET CHAINING

Ph.D., I. Rozlomii^{1[0000-0001-5065-9004]}, **Ph.D., S. Naumenko**^{2[0000-0002-6337-1605]}

Cherkasy State Technological University, Ukraine

EMAIL: ¹inna-roz@ukr.net, ²sergey.naumenko94@vu.cdu.edu.ua

МЕХАНІЗМ ПОСЛІДОВНОЇ ПЕРЕВІРКИ ЦІЛІСНОСТІ ТЕЛЕМЕТРІЇ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ НА ОСНОВІ КРИПТОГРАФІЧНОГО ЗВ'ЯЗУВАННЯ ПАКЕТІВ

Ph.D., I. Розломій, Ph.D., С. Науменко

Черкаський державний технологічний університет, Україна

Анотація. Запропоновано механізм послідовної перевірки цілісності телеметрії цифрових двійників на основі криптографічного зв'язування пакетів. Механізм формує залежність між поточним пакетом і попереднім криптографічним станом, що дає змогу виявляти модифікацію, вставлення, видалення, повторну передачу та зміну порядку пакетів. Реалізація на основі ASCON-Hash256 забезпечує перевірку потоку зі збереженням лише останнього валідного криптографічного стану. Експериментальна перевірка підтвердила

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

рівень виявлення маніпуляцій понад 99 % за незначного збільшення обчислювальних витрат.

Ключові слова: *цифровий двійник, цілісність телеметрії, криптографічне зв'язування, полегшене хешивання, вбудовані системи.*

Abstract. *A sequential integrity verification mechanism for digital twin telemetry based on cryptographic packet chaining is proposed. The mechanism establishes a dependency between the current packet and the previous cryptographic state, enabling the detection of packet modification, insertion, deletion, replay, and reordering. The ASCON-Hash256-based implementation verifies the telemetry stream while maintaining only the latest valid cryptographic state. Experimental evaluation confirmed a manipulation detection rate above 99% with a modest increase in computational overhead.*

Keywords: *digital twin, telemetry integrity, cryptographic chaining, lightweight hashing, embedded systems.*

Digital twin technologies synchronize physical objects with their virtual representations through telemetry generated by sensors, embedded devices, and edge nodes. Their reliability depends on data integrity, since manipulated telemetry may distort the physical state and affect monitoring, prediction, diagnostics, and control [1]. Therefore, integrity protection must operate continuously with limited computational and memory overhead.

Conventional integrity verification relies on cryptographic hashes, message authentication codes, digital signatures, and authenticated encryption. However, these mechanisms generally process messages independently and provide limited control over telemetry sequence continuity. Packet insertion, deletion, replay, and reordering therefore require additional verification, particularly in resource-constrained IoT devices [2]. To address this limitation, a sequential integrity verification mechanism based on cryptographic linking of consecutive packets is considered. The cryptographic state of the preceding packet is incorporated into the next message, extending verification from individual packets to the entire telemetry stream. Each packet contains the payload, timestamp, sequence number, previous integrity value, and current hash. The timestamp and sequence number support detection of replay and sequence manipulation, while the previous integrity value establishes a cryptographic dependency between consecutive packets. Lightweight cryptographic

primitives enable implementation on resource-constrained platforms with low computational requirements [2, 3].

When a packet reaches the digital twin, its previous hash is compared with the stored cryptographic state. If they match, the current hash is recomputed and verified. Successful verification confirms packet integrity and sequence continuity, and the verified hash becomes the state for the next packet. The verification procedure is presented in Fig. 1.

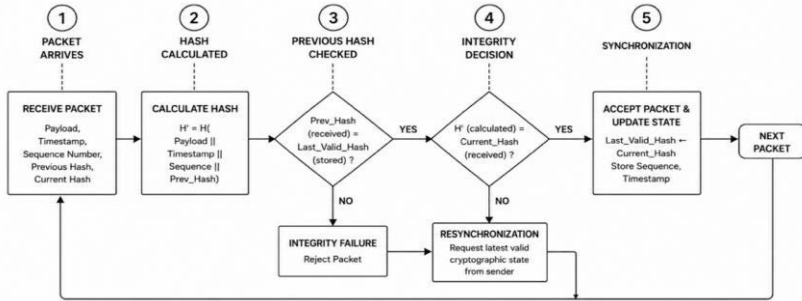


Figure 1. Flowchart of the sequential integrity verification procedure for digital twin telemetry

If an integrity mismatch is detected, the packet is rejected and resynchronization is initiated. Instead of reconstructing the complete telemetry history, the latest valid cryptographic state restores verification, reducing processing and avoiding retransmission of previously verified data. The mechanism requires one lightweight hash computation per packet and maintains a constant-size cryptographic state regardless of stream length, which is important for resource-constrained IoT and edge devices [4].

The experimental implementation used an STM32F407 microcontroller as the telemetry source and an ESP32-S3 as the communication gateway. The embedded software operated under FreeRTOS with ASCON-Hash256 as the lightweight cryptographic primitive, while the digital twin verification module was implemented on a personal computer. Experiments involved 10,000 telemetry packets with payload sizes of 64, 128, and 256 bytes, with modification, insertion, deletion, replay, and reordering introduced during transmission. The results demonstrated low additional computational costs. Average processing time increased from 142.8 μ s for independent hashing

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

to 151.6 μ s for sequential verification, corresponding to 6.2% overhead. RAM consumption increased from 416 to 448 bytes (7.7%), Flash memory from 31.4 to 32.0 kB (1.9%), and CPU utilization from 17.8% to 18.9% (6.2%). The number of hash computations remained one per packet, with computational complexity of $O(n)$.

Approximately 5% of packets were intentionally manipulated in each experimental scenario. Precision, Recall, and F1-score exceeded 99%, confirming reliable detection of telemetry manipulation. Unlike independent hashing, the proposed mechanism verifies both packet integrity and stream continuity, enabling detection of insertion, deletion, replay, and reordering through cryptographic state violations.

The results demonstrate that sequential cryptographic linking extends integrity verification from individual packets to the entire telemetry stream without increasing hash operations or asymptotic computational complexity. The approach is suitable for resource-constrained digital twin systems and can be applied in industrial IoT, edge computing, medical monitoring, and other cyber-physical environments.

References

1. Qian, C., Liu, X., Ripley, C., Qian, M., Liang, F., & Yu, W. (2022). Digital twin – cyber replica of physical things: Architecture, applications and future research directions. *Future Internet*, 14(2), 64. <https://doi.org/10.3390/fi14020064>
2. Rozlomii, I., Yarmilko, A., & Naumenko, S. (2025). Innovative resource-saving security strategies for IoT devices. *Journal of Edge Computing*, 4(1), 35–56. <https://doi.org/10.55056/jec.748>
3. Mufidah, N. F., & Nuha, H. H. (2024). Performance and security analysis of lightweight hash functions in IoT. *Jurnal Informatika: Jurnal Pengembangan IT*, 9(3), 264–270. <https://doi.org/10.30591/jpit.v9i3.7633>

UDC 519.7

LORAWAN IN AVIATION: A COMPREHENSIVE ANALYSIS OF CYBER THREATS AND RESILIENCE STRATEGIES

Y. Tertus^[0009-0004-8861-6092], **D. Kozlovskaya**^[0009-0004-6223-0319],

B. Kotyk^[0009-0005-0821-9108]

State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine

EMAIL:4142569@stud.kai.edu.ua

**LORAWAN В АВІАЦІЇ: КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ
КІБЕРЗАГРОЗ ТА СТРАТЕГІЙ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ**

Я. Тертус, Д. Козловська, Б. Котик

Національний університет "Київський Авіаційний інститут", Україна

Анотація. У світовій інфраструктурі повітряного транспорту впроваджується концепція «розумного аеропорту». Крім того, велика кількість цивільних та військових служб уже використовує безпілотні літальні апарати (БПЛА) для виконання різноманітних завдань. З метою інтеграції цих служб у систему управління повітряним рухом (ATM) створюються так звані «літаючі мережі ad-hoc» (FANET). Як літаючі, так і стаціонарні елементи системи моніторингу повітряного простору в аеропортах утворюють розподілену систему, яка потребує енергоефективних безпроводових мереж для телеметрії та моніторингу на великі відстані.

Ключові слова: LoRaWAN, кібербезпека, стійкість до перешкод, штучний інтелект, обробка даних, машинне навчання.

Abstract. Air transport infrastructure of the world is implementing the Smart Airport concept. In addition, a large number of civil and military services are already utilizing Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in various types of missions. To realize the integration of these services in Air Traffic Management (ATM) so-called Flying Ad-hoc Networks (FANETs) are being established. The flying as well as the static entities of the air space monitoring system at airports form a distributed system which requires energy efficient wireless networks for telemetry and long distance monitoring.

Keywords: LoRaWAN, Cyber Security, Interference Immunity, Artificial Intelligence, Data Processing, Machine Learning.

The smartification of airports, vast-scale introduction of numerous IoT devices, increased number of flights performed by drones and the implementation of Flying Ad Hoc Networks (FANETs) require the development and deployment of long-distance, low-power consumption wireless systems to provide telemetry and other monitoring services. The paper describes the security issues that arise in aviation when implementing a wireless communication technology such as LoRaWAN that is energy efficient and has large coverage area and which can function in different complex radio environments. The aim of this paper is to research LoRaWAN security threats in the aviation systems and to provide methods

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

for improving the resilience of communication systems subject to various kinds of interference and cyber-attacks [1, 3, 5].

The main objective of the research work is to assess the potential of applying the LoRaWAN technology in aviation communication systems. The purpose of the research work is to examine the possible threats to LoRaWAN networks and to analyze possible ways to protect against them as well as to justify an integrated approach to protect against possible threats to LoRaWAN networks, based on adaptive radio resources management, cryptographic methods, and intelligent detection of unusual activity. We studied several scenarios for using LoRaWAN communication in various applications, such as those for the UAVs equipped with gateways, for the Flying Ad Hoc Networks, for airport sensors and for the transmission of telemetry information for the unmanned aircrafts. The research is based on several publications on the subject that describe the architecture of the LoRaWAN, physical and protocol layer threats to security, applications of the technology in aviation and methods for improving the communication resilience [1, 2, 4].

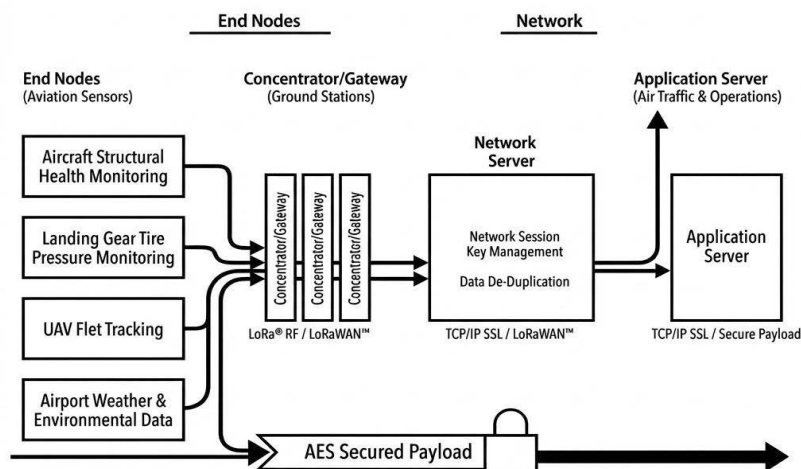


Figure 1. LoRaWAN Protocol Architecture

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Simulation-based validation confirms the proposed cross-layer LoRaWAN framework. Under reactive jamming, PDR rose from 57.45% to 94.54%, and Jamming Resilience Index from 0.7639 to 0.9783. The IDS detected all jamming events (mean delay 76.8 s, 0.7% false positives); recovery restored target PDR within 60 s. Combining gateway diversity, adaptive radio parameters, attack detection, and channel switching improves LoRaWAN 1.1 availability, supporting airport telemetry, UAV swarms, and degraded-mode backup communication.

References

1. L. Paredes, H. Kaushal, T. V. Pasca, LoRa Technology in Flying Ad Hoc Networks: A Survey of Challenges and Open Issues, *Sensors* 23 (5) (2023) 2403. <https://doi.org/10.3390/s23052403>.
2. A. Nissim, LoRaWAN in Physical Security & Aviation: A Quiet Revolution in Awareness, LinkedIn, Apr. 19, 2025. [Online]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/lorawan-physical-security-aviation-quiet-revolution-awareness-nissim-bvyue/>.
3. M. A. Ferrag, L. Maglaras, H. Janicke, J. Jiang, LoRaWAN security survey: Issues, threats and possible mitigation techniques, *Internet of Things* 14 (2021) 100303. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2021.100303>
4. M. Butun, N. Pereira, M. Gidlund, Security Vulnerabilities in LoRaWAN, in: *Proceedings of the 3rd ACM MobiHoc Workshop on Experiences with the Design and Implementation of Smart Objects*, ACM, 2018, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1145/3213299.3213304>.
5. R. Ronen, B. Ben-Moshe, Cyberattack on Flight Safety: Detection and Mitigation Using LoRa, *Sensors* 21 (13) (2021) 4610. <https://doi.org/10.3390/s21134610>.

SECTION 4 MODELING, SOFTWARE ENGINEERING, AND
APPLIED ICT

UDC 004.777:004

**INFORMATION AND COMPUTATIONAL MODEL FOR
EVALUATING LASER EXPOSURE PARAMETERS IN
TRANSSCLERAL CYCLOPHOTOCOAGULATION**
Dr.Sci., V. Vychuzhanin^{1[0000-0002-6302-1832]}, **Ph.D., O. Guzun**^{2[0009-0003-6873-8503]},
Ph.D., A. Vychuzhanin^{3[0000-0001-8779-2503]}
^{1,3}*Odessa Polytechnic National University, Ukraine,*
²*ISI "The Filatov Institute of Eye Diseases and Tissue Therapy of the National*
Academy of Medical Sciences of Ukraine", Ukraine,
EMALE: ¹v.v.vychuzhanin@op.edu.ua, ²olga.v.guzun@gmail.com,
³vychuzhanin.o.v@op.edu.ua

**ІНФОРМАЦІЙНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНА МОДЕЛЬ
ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЛАЗЕРНОГО ВПЛИВУ ПРИ
ТРАНССКЛЕРАЛЬНІЙ ЦИКЛОФОТОКОАГУЛЯЦІЇ**
Dr.Sci., В. Вичужанін¹, Ph.D., О. Гузун², Ph.D., А. Вичужанін³
^{1,3}*Національний університет «Одеська політехніка», Україна,*
²*ІДУ «Інститут очних хвороб і тканинної терапії ім. Філатова НАМН*
України», Україна

Анотація. Запропоновано інформаційно-обчислювальний підхід до оцінювання ефективності та безпеки транссклеральної циклофотокоагуляції (ТСК ЦФК) при неоваскулярній глаукомі на основі моделювання температурної відповіді циліарного тіла. Температурну динаміку визначали за рівнянням біотеплопереносу Пеннеса у двовимірному осісметричному джерелі — за законом Бугера–Ламберта–Бера. Досліджено режими Continuous Wave (CW) та MicroPulse при потужності 1 і 2 Вт для одиничних та серійних аплікацій. Для оцінювання режимів визначали максимальну температуру, час досягнення 50 °С, тривалість перебування у терапевтичному діапазоні 50–60 °С та вище 60 °С, а також інтегральні показники Therapeutic Exposure Index (TEI), Destructive Exposure Index (DEI), Thermal Selectivity Index (TSI) та Safety Margin. Встановлено, що CW 1 Вт × 2 с досягає коагуляційного порога без перевищення 60 °С (Tmax = 50,8 °С; t50 =

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

1,44 с), тоді як CW 2 Вт спричиняє перегрів тканини. При серійних аплікаціях CW 1 Вт забезпечує терапевтичне накопичення теплової дози без деструктивного перегріву ($DEI = 0$), тоді як CW 2 Вт характеризується тривалим перебуванням вище $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для MicroPulse $T_{\max}$ не досягає коагуляційного порога ($\leq 49\text{ }^{\circ}\text{C}$). Результати підтверджують можливість використання моделі для кількісного порівняння та попередньої оптимізації параметрів лазерного впливу. Найсприятливішим за співвідношенням ефективності та безпеки є режим CW 1 Вт $\times$ 2 с. Запропонований підхід дозволяє автоматизувати порівняння альтернативних режимів та виконувати попередню оптимізацію параметрів лазерної процедури.

Ключові слова: інформаційно-обчислювальна модель, математичне моделювання, підтримка прийняття рішень, теплоперенос, лазерні медичні технології.

Abstract. An information and computational approach to evaluating the efficacy and safety of transscleral cyclophotocoagulation (TSCPC) in neovascular glaucoma based on modeling the temperature response of the ciliary body is proposed. The temperature dynamics were determined using the Pennes bioheat transfer equation in a two-dimensional axisymmetric approximation for the "sclera–ciliary body" structure, while the laser heat source was determined according to the Bouguer–Lambert–Beer law. Continuous Wave (CW) and MicroPulse modes at powers of 1 and 2 W were studied for single and serial applications. To evaluate the modes, the maximum temperature, time to reach $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, duration of exposure within the therapeutic range of $50\text{--}60\text{ }^{\circ}\text{C}$ and above $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, as well as the integral indicators Therapeutic Exposure Index (TEI), Destructive Exposure Index (DEI), Thermal Selectivity Index (TSI), and Safety Margin were determined. It was established that CW 1 W $\times$ 2 s reaches the coagulation threshold without exceeding $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($T_{\max} = 50.8\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_{50} = 1.44\text{ s}$), whereas CW 2 W causes tissue overheating. During serial applications, CW 1 W provides therapeutic accumulation of the thermal dose without destructive overheating ($DEI = 0$), whereas CW 2 W is characterized by prolonged exposure above $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. For MicroPulse, $T_{\max}$ does not reach the coagulation threshold ($\leq 49\text{ }^{\circ}\text{C}$). The results confirm the possibility of using the model for quantitative comparison and preliminary optimization of laser exposure parameters. The CW 1 W $\times$ 2 s mode is the most favorable in terms of the balance between efficacy and safety. The proposed approach makes it possible to automate the comparison of alternative modes and perform preliminary optimization of laser procedure parameters.

Keywords: information and computational model, mathematical modeling, decision support, heat transfer, laser medical technologies.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

1. **Introduction.** Transscleral cyclophotocoagulation (TSCPC) is one of the methods for treating refractory, in particular neovascular glaucoma, aimed at reducing intraocular pressure by suppressing the secretory function of the ciliary body [1, 2]. The efficacy and safety of the procedure largely depend on the parameters of laser exposure: insufficient energy may provide an insufficient therapeutic effect, whereas excessive thermal load increases the risk of irreversible tissue damage [3]. For information technologies, such a task can be presented as a problem of computer modeling and multicriteria evaluation of technological process parameters. Instead of empirical comparison of individual modes, a computational model is formed in which laser exposure parameters are input data, the temperature field is an intermediate information representation, and temperature-time characteristics and integral indices are output indicators for comparing scenarios. Heating tissue to 50–60 °C causes protein denaturation and coagulation changes, whereas exceeding 60 °C may lead to irreversible structural damage [4, 5]. Therefore, the temperature-time dependence is the main information parameter for quantitative evaluation of the result of laser exposure.

The aim of the work is to construct and investigate an information and computational model of the temperature response of the ciliary body, organize a series of computational experiments, and quantitatively compare TSCPC modes according to efficacy and safety criteria.

2. Information and computational model

The temperature dynamics of the ciliary body were described by the Pennes bioheat transfer equation:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = k \nabla^2 T + Q$$

where T is the tissue temperature, k , ρ and c are its thermophysical parameters, and Q is the volumetric source of laser heating.

The computational model is represented by a two-dimensional axisymmetric “sclera–ciliary body” structure. Convective heat transfer ($h=10$) W/m²•K) was taken into account on the outer surface of the sclera, while a temperature of 37 °C was specified on the inner surface. The

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

thermophysical and optical parameters of the tissues were taken from literature data and considered homogeneous.

The distribution of the laser heat source was determined according to the Bouguer–Lambert–Beer law:

$$Q(z) = \mu_a I_0 e^{-\mu_a z}$$

where μ_a is the absorption coefficient, I_0 is the radiation intensity, z is the penetration depth.

The proposed model implements a sequential transformation of data:

laser parameters → temperature field → temperature-time characteristics → integral indices → ranking of modes.

The temperature dynamics are determined by the Pennes bioheat transfer equation for a two-layer axisymmetric “sclera–ciliary body” structure, while the spatial distribution of laser heating is described by the Bouguer–Lambert–Beer law.

For quantitative evaluation, four integral criteria were formed: TEI - intensity of the therapeutic thermal effect; DEI - level of destructive overheating; TSI - selectivity of the coagulation effect; Safety Margin - safety margin relative to the critical temperature.

For the analysis, scenarios were formed according to two parameters: exposure mode (CW and MicroPulse) and power (1 and 2 W). For each scenario, a single application lasting 2 s and a series of 20 applications of 2 s each were studied.

The model is intended to evaluate the integral temperature response and does not take into account individual features of ischemia, microcirculation, pigmentation, and morphological changes of the ciliary body.

3. Computational experiment and results

Eight scenarios were formed in the model, combining two radiation modes (Continuous Wave and MicroPulse), two power levels (1 and 2 W), and two types of applications (single 2 s and a series of 20 × 2 s).

For each scenario, the following were automatically determined: maximum temperature; time to reach 50 °C; duration of exposure within the range of 50–60 °C; time above 60 °C; integral indices TEI, DEI, TSI, and Safety Margin.

This approach provides a unified comparison of alternative modes without conducting additional physical experiments.

The results of modeling the temperature dynamics during a single application lasting 2 s are presented in Fig. 1.

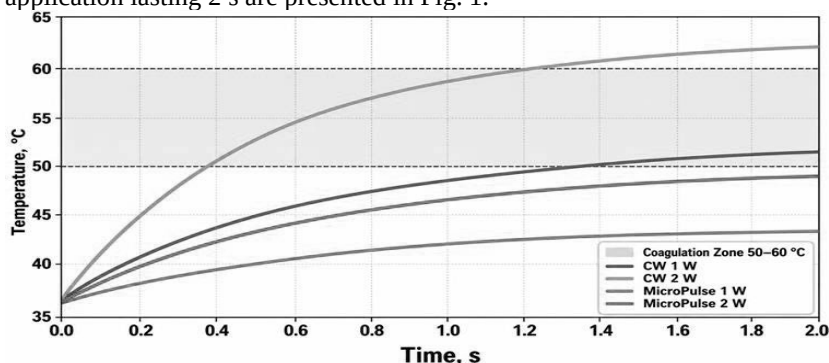


Figure 1. Temperature dynamics under different laser exposure modes. Temperature dynamics during a single application lasting 2 s in CW and MicroPulse modes at a power of 1 and 2 W. For the MicroPulse mode, an averaged temperature profile calculated based on the equivalent average power is presented without reproducing the microsecond pulse structure. The gray area corresponds to the coagulation range of 50–60 °C.

As can be seen from Fig. 1, the nature of the temperature response significantly depends on the mode and power of laser exposure. The CW mode provides a faster increase in temperature compared to MicroPulse. At a power of 2 W in the CW mode, the temperature exceeds the critical level of 60 °C, whereas the other studied modes remain below this threshold.

4. Results

Computational modeling showed a significant dependence of the temperature response on the laser mode and power. The CW 1 W × 2 s mode reaches the coagulation threshold ($T_{\max} = 50.8$ °C; $t_{50} = 1.44$ s) without exceeding the critical temperature of 60 °C. In contrast, CW 2 W provides faster heating, but is accompanied by tissue overheating ($T_{\max} = 61.8$ °C) and high DEI values during serial applications.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

The MicroPulse modes under the studied conditions do not reach the coagulation temperature range ($T_{\max} \leq 49\text{ }^{\circ}\text{C}$), which indicates their lower thermal efficacy while maintaining a high level of safety.

The obtained results demonstrate the possibility of automated ranking of laser exposure modes based on a combination of efficacy and safety criteria.

5. Conclusions

An information and computational model for supporting the selection of TSCPC parameters has been developed, integrating mathematical modeling, a computational experiment, and multicriteria evaluation. The model formalizes the process of comparing alternative modes and can be used as a tool for preliminary optimization of laser treatment parameters. The CW 1 W $\times$ 2 s mode demonstrated the best balance of therapeutic efficacy and safety among the studied scenarios.

References

- 1 Schlote T, Derse M, Rassmann K, Nicaeus T, Dietz K, Thiel HJ. Efficacy and safety of contact transscleral diode laser cyclophotocoagulation for advanced glaucoma. *J Glaucoma*. 2001;10(4):294–301. <https://doi.org/10.1097/00061198-200108000-00006>.
- 2 Pastor SA, Singh K, Lee DA, Juzych MS, Lin SC, Netland PA, et al. Cyclophotocoagulation: a report by the American Academy of Ophthalmology. *Ophthalmology*. 2001;108(11):2130–2138. [https://doi.org/10.1016/S0161-6420\(01\)00868-3](https://doi.org/10.1016/S0161-6420(01)00868-3).
- 3 Aquino MCD, Barton K, Tan AMWT, Sng CCA, Li X, Loon SC, et al. Micropulse versus continuous wave transscleral diode cyclophotocoagulation in refractory glaucoma. *Clin Exp Ophthalmol*. 2015;43(1):40–46. <https://doi.org/10.1111/ceo.12360>.
- 4 Niemi MH. *Laser-Tissue Interactions: Fundamentals and Applications*. 3rd ed. Berlin: Springer; 2007. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-73412-5>.
- 5 Brinkmann R, Hüttmann G, Rögner J, Roider J, Birngruber R. Origin of retinal pigment epithelium cell damage by pulsed laser irradiance in the nanosecond to microsecond time regimen. *Lasers Surg Med*. 2000;27(5):451–464. [https://doi.org/10.1002/1097-0290\(2000\)27:5<451::AID-LSM1006>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/1097-0290(2000)27:5<451::AID-LSM1006>3.0.CO;2-1).

UDC 519.642

METHOD FOR VERIFYING THE ACCURACY OF DYNAMIC SYSTEM MODEL CALCULATIONS

Dr.Sci., S. Polozhaenko^[0000-0002-4082-8270], **L. Prokofieva**^[0000-0002-4045-2402],
Ph.D., A. Prokofiev^[0000-0002-4520-4248], **Ph.D., A. Savieliev**^[0000-0002-6949-5959]
Odesa Polytechnic National University, Ukraine
EMAIL: polozhaenko@op.edu.ua

МЕТОД ПЕРЕВІРКИ ТОЧНОСТІ РОЗРАХУНКІВ ЗА МОДЕЛЛЮ ДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМИ

Dr.Sci., С. Положаєнко, Л. Прокоф'єва, Ph.D., А. Прокоф'єв,
Ph.D., А. Савельєв

Національний університет «Одеська політехніка», Україна

***Анотація.** Метою роботи є вдосконалення контролю над процесом чисельного розв'язання динамічних рівнянь за допомогою алгоритмічного керування. Запропоновано критерії виявлення алгоритмічних помилок та розроблено метод прийняття рішень для керування обчислювальним процесом. У результаті роботи запропоновано метод із підвищенням обчислювальної точності для послідовного визначення функцій стану з вищою точністю локальних похибок.*

***Ключові слова:** динамічні системи; обчислювальна точність; чисельне рішення; перевірка математичних моделей.*

***Abstract.** The aim of this work is to improve control over the process of numerically solving dynamic equations using algorithmic control. Criteria for detecting algorithmic errors and a decision-making method for controlling the computational process are developed. As a result, a method is proposed for improving computational accuracy in the sequential determination of state functions with higher accuracy of local errors.*

***Keywords:** dynamic systems; computational accuracy; numerical solution; mathematical models verification.*

Introduction. In real-world modeling or control systems, computational processes are inevitably accompanied by various types of disturbances and errors [1]. In this context, disturbances are defined [2] as distortions in the processed and control information caused by self-correcting root causes

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

(incorrect operation of binary hardware elements, interference, power supply voltage fluctuations, etc.). Moreover, most disturbances are random in nature. Therefore, effective real-time monitoring is required to detect and eliminate errors before they propagate through the control loop, making responsiveness one of the key characteristics of error control systems [3, 4].

The purpose of this work is to improve control over the computation process for any numerical solution methods of dynamic equations by developing algorithmic control methods based on the application of a control algorithm that is executed during the numerical solution of the main task.

To achieve this purpose, the decision-making method that determines the presence or absence of a failure is developed.

Method for verifying of computational implementations of models

An algorithm that implements the method with *increasing computational accuracy* must meet the following requirements:

1. The calculation process at each integration step must begin with determining the function f at the point t_{i+1} . In this case, the function $f(y, u, t_{i+1})$ is not computed; instead, the value of the function f obtained and verified during the calculation of the most accurate solution to system at the previous integration step is used.

2. The number of partitions k (i.e., the number of values $y_{i+1}^{(r)}$ obtained with increasing accuracy on the interval $[t_i, t_{i+1}]$) can be chosen by minimizing subject to the constraint on the value of $\xi = (y_{i+1}^{(l+1)} - y_{i+1}^{(l)})$, or conversely, by minimizing ξ subject to the constraint on $M[T]$. However, in practice, $t_{\text{наб}} \gg t_{\text{ош.к}}$, and therefore, when designing an algorithm for the method with increasing accuracy, it is advisable to choose the maximum number of partitions k that is possible for the method of the selected accuracy order r .

Conclusion

Algorithmic control methods are proposed that can be applied to control the computation process for any method of numerically solving equations of dynamics, namely: extrapolation and interpolation control methods. These methods are based on the use of a control algorithm that is executed during

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

the numerical solution of the given (main) problem, but which is simpler than the main problem itself.

References

1. Castro, R., Bergonzi, M., Pecker Marcosig, E., Fernández, J., & Kofman, E. (2024). Discrete-event simulation of continuous-time systems: Evolution and state of the art of quantized state system methods. *Simulation*, 100(6), 613–638. <https://doi.org/10.1177/00375497241230985>.
2. Gani, R., Eden, M. R., Perkins, J. D., et al. (2025). Models, modeling, and model-based systems in the era of computers, machine learning, and AI. *Computers & Chemical Engineering*, 194, Article 108957. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2024.108957>.
3. Yavuz, M., & Dassios, I. (2024). Significance of mathematical modeling and control in real-world problems: New developments and applications. *Mathematical and Computational Applications*, 29(5), Article 82. <https://doi.org/10.3390/mca29050082>.
4. Fomin, O. O., Speransky, V. O., Verlan, A. A., Tataryn, O. V., & Chmelevskiy, A. M. (2026). Long short-term memory-based reference model method for nonlinear dynamic system identification. *Herald of Advanced Information Technology*, 9(3), 307–320. <https://doi.org/10.15276/hait.09.2026.20>.

UDC 517.9:004.9

AUTOMATED SYMBOLIC-TO-VISUAL PIPELINE
FOR SURFACE FLUX TASK GENERATION AND VERIFICATION
IN ENGINEERING EDUCATION

Dr.Sci., H. Tuluchenko^{1[0000-0002-6196-540X]},
Dr.Sci., Yu. Pershyna^{2[0000-0002-4719-8195]}, **Dr.Sci., V. Mezhuhev**^{3[0000-0002-9335-6131]}
^{1,2} National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Ukraine,
³ FH JOANNEUM University of Applied Sciences, Austria
E-MAIL: ¹*Halyna.Tuluchenko@khpi.edu.ua*, ²*Yuliia.Pershyna@khpi.edu.ua*,
³*vitaliy.mezhuhev@fh-johanneum.at*

АВТОМАТИЗОВАНИЙ СИМВОЛЬНО-ВІЗУАЛЬНИЙ КОНВЕЄР
ДЛЯ ГЕНЕРАЦІЇ ТА ВЕРИФІКАЦІЇ ЗАВДАНЬ З ОБЧИСЛЕННЯ
ПОТОКУ ВЕКТОРНОГО ПОЛЯ В ІНЖЕНЕРНІЙ ОСВІТІ

Dr.Sci., Г. Тулученко¹, **Dr.Sci., Ю. Першина**¹,
Dr.Sci., В. Межуєв²

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

¹Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна,

²FH JOANNEUM Університет прикладних наук, Австрія

Анотація. У роботі представлено програмний модуль для автоматизованої генерації дидактичних матеріалів з обчислення потоку векторного поля. Пайплайн інтегрує аналітичні можливості SymPy та процедурний рендеринг ManimCE у PyQt6-інтерфейс. Система автоматизує пакетну генерацію варіантів завдань, створюючи синхронізовані 3D-візуалізації (MP4) та таблиці даних (CSV). Оцінка підтверджує обчислювальну ефективність модуля для інтенсивних академічних процесів.

Ключові слова: проєктування програмних модулів, символічно-візуальний конвеєр даних, автоматизовані авторські інструменти, Python, ManimCE, процедурний рендеринг, обчислення потоку через поверхню, векторний аналіз.

Abstract. The paper presents a software module for the automated generation of didactic materials on calculating surface flux in vector fields. The pipeline integrates SymPy's analytical capabilities and ManimCE's procedural rendering within a PyQt6 interface. It automates batch processing, producing synchronized 3D visualizations (MP4) and data tables (CSV). Evaluation confirms the module's computational efficiency for intensive academic workflows.

Keywords: software module design, symbolic-to-visual data pipeline, automated authoring tools, Python, ManimCE, procedural rendering, surface flux computation, Vector Calculus.

Studying vector calculus at technical universities involves a high level of abstraction, which creates significant perceptual barriers for engineering students [1]. One of the most challenging topics is calculating the flux of a vector field through a spatial surface. Traditional teaching methods are often limited to static two-dimensional drawings, which fail to adequately convey the three-dimensional dynamics of the field's interaction with the surface [2]. At the same time, the independent creation of dynamic video content by mathematics faculty using specialized tools, such as the Manim animation library, is severely hindered by a high entry barrier, the need for programming skills, and a substantial time investment for writing and debugging scripts [3, 4]. The objective of this work is to develop and evaluate the effectiveness of a specialized software module, the Symbolic-

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

to-Visual Pipeline, focused on the large-scale production of individual tasks alongside the rendering of corresponding spatial scenes.

The developed architectural solution is based on the integration of the PyQt6 graphical user interface, the SymPy symbolic core, and the ManimCE animation engine via dynamic JSON configurations. The implemented system for synchronized tracking of background processes and absolute path resolution effectively prevents rendering conflicts, thereby eliminating GUI locking. Pipeline performance verification was conducted using automated batch modeling of vector field flux through a plane. Performance evaluation confirmed the high computational capacity of the system, establishing the Medium Quality mode (720p, 30 fps) as a rational standard for intensive academic workflows.

The module eliminates the need for low-level script coding, simplifying routine task preparation for instructors and fostering the formation of accurate spatial mental models. Ultimately, the system synchronously manages interconnected datasets of task parameters (CSV) and corresponding three-dimensional animations (MP4). A promising vector for the ecosystem's evolution involves scaling this approach into interconnected software pairs ("instructor-generator and student-training complex") utilizing step-by-step cognitive scaffolding to support second-order curved surfaces and solve applied engineering problems in fluid dynamics and electrodynamics.

References

1. Tuluchenko, H. Y. (2025). Analysis of methodical support for teaching vector analysis and approaches to its improvement. In H. D. Berehova (Ed.), *Theory and methods of teaching in technical higher education institutions* (pp. 253–277). Knyzhkove vydavnytstvo FOP Vyshemyrskyi V.S. [in Ukrainian].
2. Niu, Y., Wang, L., Wang, Y., & Wang, P. (2025). Study on improving the teaching effect of mathematical methods for physics using Manim animation technology. *Journal of Contemporary Educational Research*, 9(10), 215–222. <https://doi.org/10.26689/jcer.v9i10.12674>
3. Tuluchenko, H. Y., & Bilousova, T. P. (2026). Verification potential of custom-built software modules in the mathematical training of engineers amid digitalization. *Modern Information Technologies and Innovation Methodologies of Education in Professional Training: Methodology, Theory, Experience, Problems*, 79, 144–155. <https://intranet.vspu.edu.ua/sit/index.php/sit/article/view/5853/5221>

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

4. Samarth, P., Jain, V., Golugula, S., & Sathvik, M. S. (2025). *Manimator: Transforming Research Papers into Visual Explanations* (arXiv:2507.14306). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2507.14306>

УДК 517.9; 519.6; 556.3; 631.6

**FRACTIONAL-ORDER MODELLING OF TEXTURE CHANGES
AND POROELASTIC STATE OF IRRIGATED SOILS WITH
SIGNIFICANT NON-LOCAL INTERACTIONS**

Dr.Sci., V. Bohaienko¹[0000-0002-3317-9022],

Dr.Sci., M. Romashchenko²[0000-0002-9997-1346], Ph.D., T. Blagoveshchenskaya³

¹VM Glushkov Institute of Cybernetics of NAS of Ukraine, Ukraine,

²Institute of Water Problems and Land Reclamation of NAAS of Ukraine, Ukraine,

³VM Glushkov Institute of Cybernetics of NAS of Ukraine, Ukraine

EMAIL: ¹sevab@ukr.net, ²mi.romashchenko@gmail.com, ³dept175@gmail.com

**ДРОБОВО-ДИФЕРЕНЦІАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗМІН
ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ ТА ПОРОЕЛАСТИЧНОГО
СТАНУ ЗРОШУВАНИХ ҐРУНТІВ ЗІ ЗНАЧНИМИ
НЕЛОКАЛЬНИМИ ВЗАЄМОДІЯМИ**

Dr.Sci., В. Богаєнко¹,

Dr.Sci., М. Ромащенко², Ph.D., Т. Благовещенська³

¹Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Україна,

²Інститут водних проблем і меліорації НААН України, Україна,

³Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Україна

Анотація. Пропонується 1D модель для прогнозування довгострокового перерозподілу гранулометричного складу ґрунту під час зрошення, яка розширює раніше розроблену дробово-диференціальну за простором модель пороеластичності шляхом додаткового розгляду перенесення частинок піску, мулу та глини на основі кінетичної системи типу «приєднання-деформація-відрив». Модельовані концентрації частинок використовуються для оновлення гідрофізичних параметрів ґрунту, представлених згідно з моделлю ван Генухтена-Муалема та щільності за допомогою відомого емпіричного співвідношення.

Ключові слова: пороеластичність, перенесення частинок, ґрунт, зрошення, дробово-диференціальна модель

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Abstract. We propose a coupled 1D model for simulating long-term soil texture redistribution under irrigation that extends a previously developed space-fractional poroelastic model by incorporating particle transport for sand, silt, and clay particles according to the kinetic attachment-straining-detachment system. The simulated particle concentrations are used to update the hydro-physical parameters of the soil represented by the van Genuchten-Mualem model and the soil grain density via a known empirical texture-density relation.

Keywords: poroelasticity, particle transport, soil, irrigation, fractional-differential model

Predicting long-term changes in soil properties under the influence of irrigation is an important problem in sustainable land management and precision agriculture as repeated irrigation not only alters the moisture regime, but also the mechanical composition of soil, the strain-stress state of soil skeleton, and soil density.

To predict the co-influence of these processes, we extend the space-fractional poroelastic model [1] by incorporating the transport of three concurrent types of particles (sand, silt, and clay), whose redistribution continuously modifies the hydro-physical parameters of the soil.

The base model consists of two coupled fractional-order partial differential equations in one spatial dimension $z \in [0, L]$. The fractional Richards equation for the water head $h(z, t)[m]$ is as follows:

$$(C(h) + \theta(h)C_w\rho_w g)\frac{\partial h}{\partial t} + D^\alpha\left(\theta(h)\frac{\partial u_z}{\partial t}\right) = D^\alpha(k(h)D^\alpha(h - z)) + S$$

where $C(h) = \partial\theta / \partial h[1/m]$ is the specific moisture capacity, $k(h)[m/s]$ is the hydraulic conductivity, $u_z(z, t)[m]$ is the vertical displacement of the solid skeleton, $\rho_w[kg/m^3]$ is the density of water, $g[m/s^2]$ is the acceleration of gravity, $C_w[m^2/N]$ is the compressibility of water, $S[1/s]$ is the source and sink term, and $D^\alpha f(z)$ is the space-fractional derivative.

The fractional consolidation equation is as follows:

$$\rho_{mix}\frac{\partial v_z}{\partial t} = (\lambda + 2\mu)D^\alpha(D^\alpha u_z) - B\rho_w g D^\alpha\left(\frac{\theta(h)}{n}h\right) + \rho_{mix}g$$

where $\lambda, \mu [Pa]$ are the Lamé parameters of the soil skeleton, $B[-]$ is the Biot coefficient, $n[-]$ is the porosity, and $\rho_{mix} = (1-n)\rho_s + n\rho_w [kg/m^3]$ is the bulk density of the saturated mixture with solid grain density ρ_s . The functions $\theta(h)$ and $k(h)$ are parametrised by the van Genuchten–Mualem model.

Further, we consider three types of soil particles - sand ($p = 1$), silt ($p = 2$), and clay ($p = 3$). For each type, three concentrations are introduced: $c^{(p)}(z, t)[-]$ is the suspended concentration of particles per unit volume of pore water; $s_a^{(p)}(z, t)[-]$ is the concentration of reversibly attached particles per unit bulk volume; $s_s^{(p)}(z, t)[-]$ is the concentration of irreversibly strained particles per unit bulk volume.

The governing equations follow the kinetic attachment–straining–detachment framework given in [2]:

$$\begin{aligned}\frac{\partial(\theta c^{(p)})}{\partial t} &= -\frac{\partial(q c^{(p)})}{\partial z} - \frac{\partial s_a^{(p)}}{\partial t} - \frac{\partial s_s^{(p)}}{\partial t}, \\ \frac{\partial s_a^{(p)}}{\partial t} &= \lambda_a^{(p)} c^{(p)} q - k_{det}^{(p)} s_a^{(p)}, \\ \frac{\partial s_s^{(p)}}{\partial t} &= \lambda_s^{(p)} c^{(p)} q\end{aligned}$$

where $q(z, t) = -k(h)D^a(h-z)[m/s]$ is the Darcy flux, $\lambda_a^{(p)}[1/m]$ is the attachment coefficient, $\lambda_s^{(p)}[1/m]$ is the straining coefficient, and $k_{det}^{(p)}[1/s]$ is the detachment coefficient.

Our key extension is that we consider hydro-physical properties of the soil evolving in time as the simulated particle concentrations change. The parameters of the van Genuchten–Mualem model at each grid node are recomputed one each time step from the modelled normalised mass fractions of sand, silt, and clay using version 3 of the Rosetta pedotransfer function.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

To form the feedback from particle redistribution to the mechanical submodel, the soil grain density ρ_s is updated as a function of the local silt content [3]. To numerically solve initial-boundary value problems for the proposed model a finite-difference method is used with the application of Picard iteration technique to deal with non-linearities. The linear equation systems are solved by the OpenMP-parallelised TFQMR algorithm. The source code is available at https://github.com/sevaboh/fr_sss.

Three-year simulations of a heavy clay loam soil column under a realistic irrigation schedule showed that the texture change in the top 30 cm layer, dominated by the movement of clay fraction, accelerates non-linearly with time, suggesting a positive feedback through the dynamic update of the hydro-physical parameter functions.

References

1. V. Bohaienko, T. Blagoveshchenskaya, Modelling the dynamic poroelastic state of saturated-unsaturated soil considering non-local interactions, *SeMA* 83 (2026), 45–64. doi: [10.1007/s40324-024-00369-1](https://doi.org/10.1007/s40324-024-00369-1)
2. Y. F. Yang, D. Siqueira, A. Vaz, A. Badalyan, Z. You, A. Zeinijahromi, T. Carageorgos, P. Bedrikovetsky, Fines Migration in Aquifers and Oilfields: Laboratory and Mathematical Modelling, in: Narayanan, N., Mohanadhas, B., Mangottiri, V. (eds) *Flow and Transport in Subsurface Environment*. Springer Transactions in Civil and Environmental Engineering. Springer, Singapore, 2018, pp. 3–67. doi: [10.1007/978-981-10-8773-8_1](https://doi.org/10.1007/978-981-10-8773-8_1)
3. D. T. Broch, V. A. Klein, Maximum soil density of Entisols as a function of silt content, *Ciênc. Rural* 47(12) (2017). doi: [10.1590/0103-8478cr20160762](https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160762)

УДК 004.94:538.9

MATHEMATICAL MODELING AND SIMULATION OF NON- STATIONARY ELECTRON TRANSPORT IN PLANE NANOSTRUCTURES

V. Hykava^{1[0009-0005-8044-8159]}, **Dr.Sci., I. Boyko**^{1[0000-0003-2787-1845]},
Dr.Sci., Y. Seti^{2[0000-0001-5576-8031]}

¹ *Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ukraine*

² *Lviv Polytechnic National University, Ukraine*

EMAIL: hikavavika@gmail.com

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА СИМУЛЯЦІЯ
НЕСТАЦІОНАРНОГО ЕЛЕКТРОННОГО ТРАНСПОРТУ В
ПЛОСКИХ НАНОСТРУКТУРАХ**

В. Гикава¹, Dr.Sci., І. Бойко¹, Dr. Sci., У. Сети²

¹ Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,
Україна

² Національний університет "Львівська Політехніка", Україна

***Анотація.** У дослідженні розроблено надійну математичну модель та програмний підхід для симуляції нестационарного електронного транспорту в напівпровідникових наноструктурах. Застосовано абсолютно стійку скінченно-різницеву схему Кранка-Ніколсона для розв'язання системи рівнянь Шредінгера-Пуассона. Розроблене програмне забезпечення забезпечує високу ефективність обчислень та візуалізацію квантових явищ, що суттєво оптимізує проєктування новітніх наноелектронних пристроїв.*

***Ключові слова:** математична модель, скінченно-різницева схема, програмна система, наноструктура, квантове тунелювання.*

Abstract. This article explores ways to develop a robust mathematical model and software approach for simulating non-stationary electron transport in semiconductor nanostructures. An unconditionally stable Crank-Nicolson finite-difference scheme is applied to solve the Schrödinger-Poisson equations. The developed software ensures high computational efficiency and visualizes dynamic quantum phenomena, significantly optimizing the design process of next-generation nanoelectronic devices.

Keywords: mathematical model, finite-difference scheme, software system, nanostructure, quantum tunneling.

Сучасна наноелектроніка базується на використанні низькорозмірних систем, зокрема наноструктур, які є ключовими компонентами квантових лазерів та детекторів. Оскільки їх експериментальне створення є ресурсомістким і дорогим, актуальним завданням стає розробка надійних математичних моделей для комп'ютерної симуляції електронного транспорту, що здатні працювати на стандартних ПК. В основу запропонованої моделі покладено опис квантових станів електронів у відкритих багатопарових наносистемах. Фізичний процес описується самоузгодженою системою часозалежного рівняння Шредінгера та

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

рівняння Пуассона. Для чисельного розв'язання рівняння Шредінгера застосовано абсолютно стійку неявну скінченно-різницеву схему Кранка-Ніколсона, яка гарантує збереження норми хвильової функції. Запропонована дискретна модель демонструє другий порядок точності за просторовою та часовою координатами. На її базі у середовищі Wolfram Language реалізовано програмний комплекс, обчислювальне ядро якого використовує адаптований алгоритм прогонки для розв'язання систем алгебраїчних рівнянь.

Результати тестування підтверджують високу обчислювальну ефективність: моделювання еволюції квантової системи на сітці з 1000 вузлів протягом 1000 ітерацій займає близько 1 секунди процесорного часу. Розроблене програмне забезпечення є дієвим інструментом, що дозволяє інженерам суттєво оптимізувати процес проєктування наноелектронних компонентів шляхом високоточного комп'ютерного моделювання.

References

1. Rao, G. P., Lenka, T. R., & Nguyen, H. P. T. (2024). Field-plated and back-barrier engineered wide-bandgap III-nitride/ β -Ga₂O₃ nano-HEMT for emerging RF/microwave micro/nanoelectronics applications. *Microelectronics Reliability*, 155, 115365. <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2024.115365>
2. Shen, C., Yang, K., Zhan, W., Xu, B., Li, Z., Pan, S., Chen, S., Wang, Z., & Zhao, C. (2025). Advances in intelligent epitaxy of semiconductor materials. *Progress in Quantum Electronics*, 103, 100587. <https://doi.org/10.1016/j.pquantelec.2025.100587>
3. Birner, S., Zibold, T., Andlauer, T., Kubis, T., Sabathil, M., Trellakis, A., & Vogl, P. (2007). nextnano: General Purpose 3-D Simulations. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 54(9), 2137-2142. <https://doi.org/10.1109/TED.2007.902871>

УДК 378.147:004.8:004.946

GAMIFIED SIMULATION SYSTEMS FOR HIGHER EDUCATION: INTEGRATING AI, VR, AND SMART PLATFORMS

Ph.D., V. Nazarenko^[0000-0002-7433-2484], Ph.D., O. Zazymko^[0009-0008-2588-6756],
Dr.Sci., L. Klikh^[0009-0003-9705-8048], E. Funderburk^[0009-0002-2335-914X]

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Ukraine,
Twisted Time Studios, Vancouver, Canada
EMAIL: volodnz@nubip.edu.ua*

**ГЕЙМІФІКОВАНІ СИМУЛЯЦІЙНІ СИСТЕМИ ДЛЯ ВИЩОЇ
ОСВІТИ: ІНТЕГРАЦІЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ, VR ТА
РОЗУМНИХ ПЛАТФОРМ**

**Ph.D., В. Назаренко, Ph.D., О. Зазимко,
Dr.Sci., Л. Клїх, М. Фандербурк**

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
Twisted Time Studios, Ванкувер, Канада*

***Анотація.** Мета дослідження - оцінити результативність гейміфікованої симуляційної платформи для лабораторного навчання у закладах вищої освіти. Застосовано змішаний дизайн: опитування 187 студентів, інтерв'ю з 14 викладачами, прототипування в Unreal Engine 5 і пілотне тестування. Віртуальні лабораторії підвищили залученість до 87 %, розуміння концепцій до 90 %, а завершення завдань до 92 %. Платформа підтримує стійке, адаптивне й безпечне практичне навчання.*

***Ключові слова:** гейміфікація, симуляційне навчання, штучний інтелект, віртуальна реальність, вища освіта, Unreal Engine 5, віртуальні лабораторії.*

***Abstract.** The study evaluates a gamified simulation platform for laboratory learning in higher education. A mixed-method design combined a survey of 187 students, interviews with 14 instructors, Unreal Engine 5 prototyping, and pilot testing. Virtual laboratories increased engagement to 87%, conceptual understanding to 90%, and task completion to 92%. The results demonstrate the platform's value for resilient, adaptive, safe, and practice-oriented learning.*

***Keywords:** gamification, simulation-based learning, artificial intelligence, virtual reality, higher education, Unreal Engine 5, virtual laboratories.*

The rapid digital transformation of higher education is reshaping pedagogical strategies, demanding innovative solutions that respond to both evolving technological landscapes and learners' changing expectations. Among the most promising trends are gamification and educational simulations, redefining engagement, personalization, and practical skill development in the digital classroom. Gamification- applying game design principles in non-game contexts-provides a robust framework for structuring

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

academic content in interactive, motivating, and measurable ways. Meanwhile, simulation technologies, often enhanced by artificial intelligence (AI) and immersive platforms like virtual and augmented reality (VR/AR), offer learners hands-on experiences that mimic real-world scenarios in safe, scalable environments. Adams et al. (2008) show that simulations can significantly improve learning outcomes by fostering deeper engagement and conceptual understanding, particularly in STEM disciplines.

This study adopts a mixed-methods research design that integrates quantitative surveys, qualitative needs assessments, and pilot testing of a prototype simulation platform. The methodological framework was structured into three key phases: [1] Needs Assessment, [2] Platform Development, and [3] Implementation and Evaluation. Each phase involved engagement with students and faculty from diverse technical and technological disciplines to ensure relevance, applicability, and impact.

The Interactive Coursework Platform explores the fundamental layers of human-computer interaction (HCI) and user experience (UX) research that underpin the virtual simulation platform. This focus stems from survey data highlighting students' demand for a platform that enhances interactivity, accessibility, and usercentered learning experiences. Survey results, presented in the table below, reveal that over 80% of students prioritize ease of navigation, while 75% emphasize the importance of personalized feedback systems. These findings underscore the need for a meticulously designed platform that aligns technological innovation with pedagogical effectiveness.

Through a mixed-methods approach involving surveys, platform development, and pilot testing, the study established that gamification mechanics (e.g., quests, challenges, points systems) and real-time feedback loops modeled after game design significantly improved learning outcomes. Moreover, the simulation framework proved effective in replicating laboratory tasks that are typically constrained by cost, safety, or equipment availability. It was particularly valuable in times of crisis, such as pandemics or armed conflict, when physical access to labs is compromised. Students responded positively to the flexibility and interactivity of the virtual

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

environments, particularly the opportunity to experiment, fail safely, and iterate toward mastery.

References

1. Adams, W. K., Reid, S., LeMaster, R., McKagan, S. B., Perkins, K. K., Dubson, M., & Wieman, C. E. (2008). A study of educational simulations, Part I—Engagement and learning. *Journal of Interactive Learning Research*, 19(3), 397–419.
2. Pozo-Sánchez, S., Lampropoulos, G., & López-Belmonte, J. (2022). Comparing gamification models in higher education using face-to-face and virtual escape rooms. *Journal of New Approaches in Educational Research*, 11(2), 307–322. <https://doi.org/10.7821/naer.2022.7.839>
3. Solanes, J. E., Montava-Jordà, S., Golf-Laville, E., Colomer-Romero, V., Gracia, L., & Muñoz, A. (2023). Enhancing STEM education through interactive metaverses: A case study and methodological framework. *Applied Sciences*, 13(19), 10785. <https://doi.org/10.3390/app131910785>

УДК 332.1:69:005.21:330.34:004

**FORECAST SCENARIOS FOR IMPLEMENTING THE
SUSTAINABLE DEVELOPMENT STRATEGY OF UKRAINE'S
CONSTRUCTION SECTOR BY 2030 BASED ON THE CLUSTER-
CIRCULAR MODEL**

Dr.Sci., V. Bozhanova^{1[0000-0002-0595-9347]}, **Dr.Sci., O. Kononova**^{2[0000-0002-7215-8574]}

*Ukrainian State University of Science and Technologies,
ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", Ukraine
EMAIL: ¹vyu7575@gmail.com; ²oleksandrakononova@gmail.com*

**ПРОГНОЗНІ СЦЕНАРІЇ РЕАЛІЗАЦІЇ СТРАТЕГІЇ СТАЛОГО
РОЗВИТКУ БУДІВЕЛЬНОГО СЕКТОРУ УКРАЇНИ ДО 2030
РОКУ НА ОСНОВІ КЛАСТЕРНО-ЦИРКУЛЯРНОЇ МОДЕЛІ**

Dr.Sci., В. Божанова, Dr.Sci., О. Кононова

*Український державний університет науки і технологій,
ННІ "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури",
Україна*

***Анотація:** У дослідженні обґрунтовано прогностні сценарії реалізації стратегії сталого розвитку будівельного сектору України до 2030 року на*

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

основі авторських індикаторів I_{cdp} та I_{cdpt} і семиблокової кластерно-циркулярної моделі. Запропоновано песимістичний, реалістичний та оптимістичний сценарії, що пов'язують відновлення галузі з цифровізацією, циркулярним використанням ресурсів, інституційною координацією, людським потенціалом, регіональною спроможністю та європейською траєкторією модернізації.

Ключові слова: сталий розвиток, будівельний сектор, кластерно-циркулярна модель, індекс I_{cdp} , сценарний аналіз, BIM, циркулярна економіка.

Abstract: The study substantiates forecast scenarios for implementing Ukraine's construction sector sustainable development strategy by 2030 using the authors' I_{cdp} and I_{cdpt} indicators and a seven-block cluster-circular model. Pessimistic, realistic and optimistic scenarios are proposed, linking sector recovery with digitalization, circular resource use, institutional coordination, human potential and the European modernization trajectory.

Keywords: sustainable development, construction sector, cluster-circular model, I_{cdp} index, scenario analysis, BIM, circular economy.

1. Introduction. Ukraine's construction sector has become a strategic platform for recovery, infrastructure modernization and European integration. RDNA5 estimates reconstruction and recovery needs at USD 587.7 billion over the next decade, while direct damage reached USD 195.1 billion by the end of 2025 [1]. Therefore, sectoral development should be assessed through output, human, territorial, digital and circular capacity.

2. Methodology. The approach uses the authors' indicators [2]: $I_{cdp} = V_{cp}/Pop$ and $I_{cdpt} = V_{cp}/Area$, where V_{cp} is construction output, Pop is population and $Area$ is territorial resource. These indicators measure development intensity rather than absolute scale, which is important under population displacement, territorial losses and regional security asymmetry. The cluster-circular model integrates seven blocks: construction core, innovation, financing, institutional coordination, circular resources, territorial logistics and human capital.

3. Results. Authors' calculations based on Ukrainian statistical data, Eurostat and RDNA5 show that Ukraine remains below the construction development intensity of selected EU countries [1-3]. In 2025, the estimated I_{cdp} value for Ukraine is 0.39, compared with 1.16 for Poland, 1.33 for Germany and 1.48 for Denmark. Scenario projections depend on activation

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

of model blocks, external financing, BIM/Digital Twin adoption and circular reuse. Recent research confirms the importance of collaborative ecosystems, resource-efficient practices, interoperability, data integration and stakeholder coordination [4, 5].

Table 1. Scenario framework for Ukraine's construction sector to 2030

Parameter	Pessimistic	Realistic	Optimistic
Icdp / Icdpt by 2030	0.45 / 0.40	0.65 / 0.58	0.85 / 0.78
Facility / blocks	<40%; 1-2	40-70%; 3-5	>70%; 6-7
Digital and circular practices	BIM <15%; C&D <10%	BIM 30-50%; C&D 20-35%	BIM >60%; C&D >50%
Result by 2030	Partial recovery	Gradual modernization	Systemic transformation

Source: developed by the authors based on [1-5].

4. Conclusions. The scientific contribution lies in combining the authors' Icdp and Icdpt indicators with the seven-block cluster-circular model and translating this framework into measurable scenarios for 2030. The realistic scenario is the minimum policy benchmark for modernization, whereas the optimistic scenario defines the target trajectory for systemic transformation. Its achievement requires synchronized investment, digitalization, circular procurement, regional cluster coordination and professional training.

References

1. World Bank, Government of Ukraine, European Commission, & United Nations. (2026). Ukraine Fifth Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA5): February 2022 - December 2025. Washington, DC: World Bank.
2. Bozhanova, V.Yu., & Kononova, O.Ye. (2026). Economic recovery of integrated socio-economic systems: Strategies, sustainable development, Lean and Green logistics, circular economy: Monograph. Dnipro: PSACEA.
3. Eurostat. (2026). Construction production statistics. Luxembourg: Eurostat.
4. Itanola, M., Tuuli, M., Dodoo, A., Di Gregorio, M., Quarcoo, F., Piccardo, C., Adamu, Z., & Jones, B. (2026). Mapping Circular Economy strategies in the construction sector: Impact, solutions and gaps. Circular Economy and Sustainability, 6(2). <https://doi.org/10.1007/s43615-026-00757-x>

**International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"**

5. Muhudin, A.A., Shafiullah, M., Al-Ramadan, B., Zami, M.S., Zamani, M.T., & Herzallah, L. (2026). Reframing BIM and Digital Twins for intelligent built environments. Smart Cities, 9(4), 71. <https://doi.org/10.3390/smartcities9040071>

УДК 621.314.5:621.355

**MODEL-BASED SELECTION OF AN INVERTER SUBSYSTEM
CONFIGURATION FOR A BACKUP POWER SUPPLY SYSTEM
UNDER PARTIAL-LOAD OPERATION**

**Ph.D., O. Zgurovets^{1[0000-0001-8439-9781]}, Dr.Sci., O. Dekusha^{2[0000-0003-3836-0485]},
Ph.D., D. Matushkin^{3[0000-0003-4431-7862]}, Dr.Sci., A. Zaporozhets^{4[0000-0002-0704-4116]}**

The General Energy Institute of the NAS of Ukraine, Ukraine

EMAIL: ¹Zgurovets_OV@nas.gov.ua, ²Olds@ukr.net, ³Matushkin_DS@nas.gov.ua,

⁴a.o.zaporozhets@nas.gov.ua

**ВИБІР КОНФІГУРАЦІЇ ІНВЕРТОРНОЇ ПІДСИСТЕМИ
РЕЗЕРВНОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ НА ОСНОВІ
МОДЕЛЮВАННЯ ЗА ЧАСТКОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ**

Ph.D., O. Згуровець, Dr.Sci., O. Декуша, Ph.D., Д. Матушкін,

Dr.Sci., A. Запорожець

Інститут загальної енергетики Національної академії наук України, Україна

Анотація. Розроблено модель для порівняння конфігурацій інверторної підсистеми резервного електроживлення з батареєю LiFePO₄ енергоємністю 15 кВт·год. Порівняно один інвертор 10.2 кВт та двомодульні конфігурації з інверторами по 5.5 кВт. Невизначені параметри втрат і власного споживання задано діапазонами, а їхній вплив оцінено методом Монте-Карло. Адаптивне підключення другого модуля збільшило медіанний час резервування критичних навантажень на 3.30%.

Ключові слова: резервне електроживлення, інверторна підсистема, часткове навантаження, власне споживання, акумулятор LiFePO₄, час резервування, аналіз невизначеності

Abstract. A model was developed to compare inverter subsystem configurations for a backup power supply system with a 15 kWh LiFePO₄ battery. One 10.2 kW inverter and two-module configurations based on 5.5 kW inverters were compared. Uncertain loss and self-consumption parameters were specified as ranges and

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

evaluated by Monte Carlo simulation. Adaptive connection of the second module increased median backup time for critical loads by 3.30%.

Keywords: *backup power supply, inverter subsystem, partial-load operation, self-consumption, LiFePO₄ battery, backup time, uncertainty analysis*

За часткового навантаження тривалість автономної роботи систем резервного електроживлення залежить не лише від запасу енергії акумуляторної батареї та ККД інвертора, а й від його власного споживання, втрат перетворення і споживання системи охолодження. Оскільки виробники переважно наводять лише максимальне значення ККД, для порівняння конфігурацій використано емпіричні моделі втрат [1, 2] та підходи до керування модульними джерелами безперебійного живлення [3].

Досліджено три конфігурації системи з батареєю LiFePO₄ номінальною енергоємністю 15 кВт·год: один інвертор 10.2 кВт (конфігурація А), два інверторні модулі по 5.5 кВт у безперервній паралельній роботі (конфігурація В) та один активний модуль 5.5 кВт із підключенням другого після перевищення навантаження 4.4 кВт (конфігурація С).

Для опису втрат інверторів використано емпіричну модель з урахуванням втрат холостого ходу, залежних від навантаження втрат і споживання системи охолодження. Для двомодульних конфігурацій враховано також споживання другого інвертора в режимі очікування та додаткові втрати паралельної роботи і синхронізації.

На основі моделі втрат розроблено розрахункову модель для визначення часу резервування за профілем навантаження та доступною енергією батареї. Через відсутність повних експериментальних характеристик невідомі параметри задавалися діапазонами. Методом Монте-Карло сформовано 20 000 випадкових наборів параметрів і виконано розрахунки для трьох сценаріїв: критичних навантажень, періодичної роботи теплового насоса та високої потреби в тепловій енергії (табл. 1).

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Таблиця 1. Розрахунковий час резервування для порівнюваних конфігурацій

Сценарій	А, год	В, год	С, год
Критичні навантаження	10,48	10,23	10,82
Періодична робота теплового насоса	5,20	5,14	5,25
Висока потреба в тепловій енергії	3,40	3,38	3,41

Постійна паралельна робота двох інверторів зменшує медіанну тривалість резервного живлення в усіх розглянутих сценаріях. Адаптивна конфігурація дає найбільший приріст за критичних навантажень, менший за періодичної роботи теплового насоса, а за високої потреби в тепловій енергії відмінність між конфігураціями є незначною.

Отримані результати показують, що вибір конфігурації інверторної підсистеми за часткового навантаження визначається співвідношенням власного споживання інверторів і характером навантаження. Постійна паралельна робота двох модулів призводить до додаткових втрат, тоді як відключення другого модуля за малого навантаження може збільшити тривалість резервного живлення. Запропонований підхід придатний для попереднього вибору конфігурації за неповних даних виробника, проте остаточний вибір потребує експериментального визначення втрат інверторів.

Література

1. King, D. L., Gonzalez, S., Galbraith, G. M., & Boyson, W. E. (2007). Performance model for grid-connected photovoltaic inverters (SAND2007-5036). Sandia National Laboratories. <https://doi.org/10.2172/920449>
2. Driesse, A., Jain, P., & Harrison, S. (2008). Beyond the curves: Modeling the electrical efficiency of photovoltaic inverters. 33rd IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 1-6. <https://doi.org/10.1109/PVSC.2008.4922827>
3. Giuntini, L. (2011). Modeling UPS efficiency as a function of load. 2011 International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives. <https://doi.org/10.1109/PowerEng.2011.6036560>

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

UDC 004.056.5

**ROBUST STEGANOSYSTEM AS THE FOUNDATION OF
INFORMATION SECURITY FOR MASS CONTROL CHANNELS**

Dr.Sci., A. Kobozieva^{1[0000-0001-7888-0499]}, **K. Tryfonova**^{2[0009-0004-4468-1618]},
Ph.D., O. Lebedeva^{3[0000-0001-5459-0251]}, **Ph.D., V. Zorilo**^{4[0000-0002-4802-7347]}

Odesa National Maritime University, Ukraine

EMAIL:¹alla_kobozieva@ukr.net, ²trifonova@op.edu.ua,

³lebedeva.onmu@gmail.com, ⁴vikazorilo@gmail.com

**СТІЙКА СТЕГАНОСИСТЕМА ЯК БАЗИС ІНФОРМАЦІЙНОЇ
БЕЗПЕКИ КАНАЛУ УПРАВЛІННЯ
MASS**

Dr.Sci., A. Кобозєва, К. Трифонова,

Ph.D., О. Лебедєва, Ph.D., В. Зоріло

Одеський національний морський університет, Україна

***Анотація.** Історичне нехтування кібербезпекою в морській галузі спричинило каскад руйнівних атак на флот і порти. У сучасному автономному суднопластві (MASS) захист інформації є базисом живучості систем. Особливе місце посідає стеганографія для приховування команд управління в умовах реального часу. Метою роботи є формування повної системи критеріїв стійкості стеганосистем для MASS. Результатом стало наукове обґрунтування методологічного базису побудови високошвидкісних стеганосистем, інтегрованих у детерміновані кіберфізичні контури управління автономним судном.*

***Ключові слова:** кібербезпека, морське автономне судно, стеганосистема, стійкість стеганосистеми, кіберфізична система*

***Abstract.** Historical neglect of cybersecurity in the maritime sector has triggered a cascade of devastating attacks on fleets and ports. In modern Maritime Autonomous Surface Ships (MASS), information security serves as the baseline for system survivability. Steganography occupies a special place for concealing control commands under real-time conditions. The objective of this work is to establish a comprehensive framework of robustness criteria for steganographic systems tailored to MASS. The resulting contribution is the scientific substantiation of a methodological basis for constructing high-speed steganographic systems integrated into the deterministic cyber-physical control loops of autonomous vessels.*

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Keywords: *cybersecurity, maritime autonomous vessel, steganosystem, steganosystem robustness, cyber-physical system*

As the backbone of global logistics and world trade, the maritime industry directly determines the geopolitical sovereignty, defense capability, and national security of a state. This makes the fleet and transport infrastructure critical strategic assets, upon whose uninterrupted operation the stability of the entire country depends. Traditionally, the conservative maritime industry relied exclusively on the navigational and physical safety of vessels.

The rapid pace of shipping digitalization significantly outpaced the implementation of cybersecurity measures, causing company management to long view cybersecurity as merely an office-based IT issue detached from actual maritime operational processes.

The objective of this work is to enable the design of a robust steganographic system for use within the cyber-physical control system of an autonomous vessel by establishing a framework of robustness criteria that accounts for the specific detection vectors of a steganographic channel in this application domain.

Let us consider the existing steganographic system robustness criteria in greater detail [1]: resistance to detection of the fact of existence of hidden information (K_1); resistance to extraction of the hidden information (K_2); resistance to the imposition of false messages via the steganographic channel (imitation resistance) (K_3); resistance to recovery of the steganosystem's secret key (K_4); resistance to attacks against the embedded message (K_5). Ensuring each of these criteria is critical for a steganographic system within the MASS architecture. Detection robustness (K_1) masks the channel as legitimate traffic, preventing its targeted identification, blocking, or tampering by an adversary.

Extraction robustness (K_2) prevents the disclosure of critical commands and the operator's intentions. Imitation robustness (K_3) prevents the injection of false commands, which a fully autonomous vessel would unconditionally execute in favor of the adversary. Key robustness (K_4) prevents the compromise of the steganographic key, which would lead to full adversary control over the system. Finally, attack robustness (K_5) protects control

commands from destruction or distortion, preventing a fatal loss of vessel controllability.

The specifics of applying steganographic systems in MASS lie in operating within a strictly deterministic time-domain environment. Unlike in classical steganography, deviations from regulated data transmission intervals in MASS are flagged by monitoring systems as an anomaly. Despite the presence of natural network jitter [2], its boundaries are strictly limited. To avoid channel detection via traffic timing characteristics (rather than content analysis), the additional latency introduced by steganographic processing must strictly remain below the natural network jitter.

Thus, for a steganographic system used in the MASS architecture, an additional specific robustness criterion is necessary, hereinafter denoted as K_6 , the chronometric robustness criterion: the ability of the steganographic system to perform steganographic processing of an available container within the defined time regulation of the technological process, such that additional time overhead does not exceed the limits of natural network delay fluctuations and does not create timing anomalies for monitoring systems.

In classical steganography, the selected container is prioritized, as its structure determines throughput capacity and robustness to steganalysis. Optimal selection of the container or its regions enables absolute robustness, however, it requires additional time expenditure, which is unacceptable for MASS.

An alternative is the AI generation of a container tailored to the steganographic key and hidden information. However, it introduces the risk of semantic distortions that easily reveal the synthetic origin of the content and indirectly point to steganographic embedding. Such an attack on semantic plausibility represents a fundamentally new threat vector, stemming from the emergence of AI generation and the absence of semantic analysis in classical steganalysis.

All of the above leads to the necessity of introducing another steganographic system robustness criterion for its application as part of the MASS information security system, the criterion of semantic robustness (K_7), defined as robustness to contextual analysis: the impossibility of detecting the existence of a steganographic channel through the analysis of the container/steganomessage conformity to the routine operational

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

processes of the system utilizing the steganographic system, as well as to natural physical phenomena (for digital images and digital video).

Thus, K_6 and K_7 transform the implicit vulnerabilities of a steganographic system in MASS into explicit requirements for its design, which is a necessary condition for creating a genuinely robust security system for autonomous vessel control channels.

References

1. I. Bobok, A. Kobozeva, N. Kushnirenko, S. Sokalskiy, Increasing the resistance of the steganosystem to attacks against an embedded message by selection of container blocks, IEEE 5th Int. Conference on Advanced Trends in Information Theory, Lviv, Ukraine, 2024, pp. 264–269.
2. B. Reitz, A. Munari, F. Lazaro, D. Höhn, Optimizing satellite communication for Maritime Autonomous Surface Ships monitoring, Journal of Physics: Conference Series 3123 (2025) 012039.

UDC 004.89:519.85

INTELLIGENT CROSSPLATFORM FREIGHT MANAGEMENT SYSTEM BASED ON MATHEMATICAL METHODS OF OPERATIONS RESEARCH

Dr.Sci., Y. Petrivskyi¹[0000-0001-9749-8244], S. Shmatiuk¹[0009-0002-9943-2825],

Ph.D., V. Petrivskyi²[0000-0001-9298-8244]

¹ Rivne State Humanitarian University, Ukraine

² Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine,

EMAIL: prorectorgu@ukr.net, roomer@bigmir.net, vovapetrivskyi@gmail.com

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА КРОСПЛАТФОРМНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ВАНТАЖНИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ НА ОСНОВІ МАТЕМАТИЧНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ОПЕРАЦІЙ

Dr.Sci., Я. Петрівський¹, С. Шматюк¹, Ph.D., В. Петрівський²

¹Рівненський державний гуманітарний університет, Україна,

²Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Україна

Анотація. Запропоновано інтелектуальну систему керування для оптимізації регулювання потоків порожніх вагонів на промисловому

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

підприємстві. Система поєднує математичні методи дослідження операцій із сучасними алгоритмами нейронних мереж для підвищення ефективності прийняття рішень. Вона мінімізує експлуатаційні витрати, враховуючи тривалість технічного обслуговування, час простою в черзі на обслуговування та переміщення вагонів між пунктами навантаження й розвантаження, що забезпечує підвищення ефективності та надійності логістичних процесів залізничних перевезень.

Ключові слова: *задача призначення, математичні методи дослідження операцій, інтелектуальна система, нейронні мережі, алгоритми оптимізації*

Abstract. *An intelligent control system for optimizing the regulation of empty wagon flows at an industrial enterprise is proposed. The system integrates mathematical operations research methods with advanced neural network algorithms to improve decision-making. It minimizes operational costs by considering maintenance duration, waiting time in maintenance queues, and transportation between loading and unloading locations, thereby enhancing the overall efficiency and reliability of railway logistics operations.*

Keywords: *assignment problem, mathematical methods of operations research, intelligent system, neural networks, optimization algorithms.*

One of the most important tasks of operational work of railway transport at an industrial enterprise is the rational use of empty wagons. By its nature, this task is multi-criteria. The need for a more detailed and narrowly focused study of the issue of ensuring the development of the enterprise through logistics optimization remains relevant. Despite significant achievements in the study of this issue, it is necessary to consider in more detail the issue of the impact of optimizing the logistics system on the possibility of enterprise development.

The commercialization of transportation puts forward additional requirements for the plan for regulating the flow of empty wagons. The purpose of the research is to develop an intelligent neural network mathematical model, methods and algorithms for solving the problem of optimal distribution of control tasks to fulfill service requirements in a technological production system.

To achieve the goal, the tasks of studying the computational complexity of the task distribution problem in an intelligent system with various optimization criteria, developing neural network discrete and continuous

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

mathematical models of task distribution in an intelligent control system, developing neural network algorithms for solving the distribution problem, investigating the parameters of the algorithms and developing recommendations for their definition, and developing a software package that implements the developed algorithm for solving the task distribution problem in an intelligent control system were considered.

The service system of a technological enterprise is considered, consisting of m service workstations of various productivity, which must be distributed among n ($n \gg m$) tasks to be performed. The time t_{iz} of performing the z -th task on the i -th computer ($i = \overline{1, m}, z = \overline{1, n}$) is known. As a result of the distribution of tasks for each location, a queue of tasks is formed, the execution time of which at the i -th service location is T_i ($i = \overline{1, m}$).

$$\max \{T_1, \dots, T_m\} \Rightarrow \min, \quad (1)$$

$$\frac{1}{n} \sum_{z=1}^n \Psi_z \Rightarrow \min, \quad (2)$$

$$\frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (T_i - T_j)^2 \Rightarrow \min, \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m T_i \Rightarrow \min, \quad (4)$$

where Ψ_z is the time elapsed from the moment the first task started processing until the moment the z -th task finished processing

In this work, an analysis of criteria (1 - 4) was conducted from the point of view of the computational complexity of the problem under consideration, which can be reflected by the complexity classes of the task of creating schedules with criteria (1 - 4), namely: criterion 1 - class of the NP problem, criterion 2 - class of the P problem, criterion 3 - class of the NP problem, criterion 4 - class of the P problem.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

References

1. Zhu, L., Zhou, Y., Jiang, R., & Su, Q. (2024). Surgical case assignment problem using a multi-objective squirrel search algorithm. *Expert Systems with Applications*, 235, Article 121217. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121217>
2. Khalifa, H. A. E. W., Bozanic, D., Najafi, H. S., & Kumar, P. (2024). Solving vendor selection problem by interval approximation of piecewise quadratic fuzzy number. *Optimality*, 1(1), 23–33.

UDC 004.777:004.415.2:519.17:656.078

**THE ISSUES OF WEB APPLICATION DESIGN FOR LOGISTICS
PROCESSES MODELING BASED ON PETRI NETS**

Ph.D., D. Bondarenko^{1[0000-0002-2276-586X]}, Dr.Sci., L. Gryzun^{2[0000-0002-5274-5624]}

Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Ukraine

EMAIL: ¹dmytro.bondarenko@hneu.net, ²Lgr2007@ukr.net

**ПРОБЛЕМИ ПРОЄКТУВАННЯ ВЕБЗАСТОСУНКУ ДЛЯ
МОДЕЛЮВАННЯ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ОСНОВІ
МЕРЕЖ ПЕТРІ**

Ph.D., Д. Бондаренко, Dr.Sci., Л. Гризун

Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця,
Україна

***Анотація.** У статті представлено практичні питання проектування та впровадження веб-застосунку для моделювання та аналізу логістичних процесів з використанням математичних засобів мереж Петрі. Розроблений застосунок дозволяє подолати розрив між формальним аналізом мереж Петрі та практичним моделюванням логістичних процесів, надаючи веб-середовище, що поєднує графічне редагування, моделювання, аналітичні можливості та географічну візуалізацію на цифровій мапі. Розроблено конкретні кейси, що демонструють практичну цінність та функціонал розробленого застосунку для моделювання логістичних процесів на основі мереж Петрі.*

***Ключові слова:** мережі Петрі, моделювання логістичних процесів, веб-додаток для моделювання на основі мереж Петрі, аналіз мереж Петрі.*

***Abstract.** The paper represents the practical issues of design and implementation of a web application for logistics processes simulation and analysis using Petri nets mathematical facilities. The developed application enables to bridge the gap*

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

between formal Petri net analysis and practical logistics modeling by providing a web environment that combines graphical editing, simulation, analytical capabilities, and geographic visualization. Specific case studies demonstrating the practical value and functionality of the web application for Petri nets-based modeling of logistic processes are elaborated and discussed.

Keywords: Petri nets, logistic processes modeling, web-application for Petri nets-based simulation, Petri nets analysis.

In terms of the urgency of the research, based on the review of existing Petri net software and related academic studies [1-5 and others], it was proved the necessity to design the application aiming to bridge the gap between mathematical Petri net analysis and logistics practical modeling by providing a web environment that combines graphical editing, simulation, analytical capabilities, and geographic visualization on the map. Therefore, the purpose of the work is to highlight the practical issues of design and implementation of a web-based application for logistics processes simulation using Petri nets mathematical power.

The theoretical framework of the work is made the Petri nets theory fundamentals, their properties analysis and their applicability to logistics process modeling [4, 5 and others].

The stages and peculiarities of the authors' application design and development are highlighted. The functional and non-functional requirements for the application are determined, which enabled to define its architecture, interface, algorithmic and project solutions. It is designed based on the typical three-layer architecture "client-server-database". The server side is built on the FastAPI framework in Python 3.x. HTTP request processing is realized in synchronous mode using standard Python functions. FastAPI provides automatic validation of input data based on Pydantic schemes and auto-generation of interactive API documentation determined by the OpenAPI standard.

The client side is implemented in JavaScript based on the React.js library with a component approach, supplemented by a specialized ReactFlow library for building an interactive graphical Petri net editor. Data exchange between the client and the server is carried out via REST API in JSON format.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Besides, there were elaborated and specific case studies underlining the practical value and functionality of the said web application for Petri nets-based simulation of logistic processes. It can be concluded that developed application combines the formal analytical capabilities of Petri nets with modern web technologies and interactive geographic visualization. The application supports the complete lifecycle of logistics model development, including graphical model creation, simulation, structural and behavioral analysis, and visualization of logistics chains on digital maps. The practical significance of the developed system arose from the possibility of its implementation both in civilian applications (food logistics, pharmaceutical supply chains, distribution networks etc.) and in the military domain (modeling of supply of military units, routing of supply columns, risk assessment in the supply chain). Therefore, the presented product is a self-sufficient tool for exploring the properties of logistics networks without the need to install specialized software. The held comparative evaluation of the designed application with some existing systems, according to selected features, important for real logistic tasks solving based on Petri nets simulation and analysis, testifies that the core limitations of existing systems are overcome.

References

1. N.J. Dingle, W.J. Knottenbelt and T. Suto. PIPE2: A Tool for the Performance Evaluation of Generalised Stochastic Petri Nets, ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review (Special Issue on Tools for Computer Performance Modelling and Reliability Analysis), 36(4) (2009) 34-39.
2. K. Jensen, L. Kristensen, L. Wells, Coloured Petri Nets and CPN Tools for modelling and validation of concurrent systems. International Journal on Software Tools for Technology Transfer 9(3-4) (2007) 213–254. <https://doi.org/10.1007/s10009-007-0038-x>. AnyLogic Simulation Software. URL: <https://www.anylogic.com>.
3. Q. Xie, Research on Modeling and Analysis of Logistics Business Process Based on Petri Net ICSETPSD EAI (2024). <https://doi.org/10.4108/eai.17-11-2023.2342825>.
4. Q. Xie, Logistics Business Process Modeling and Analysis Based on Petri Net Proceedings of the 4th International Conference on Cognitive Based Information Processing and Applications 3 (2026) 613-625. https://doi.org/10.1007/978-981-95-2518-8_50.

УДК 004.777:004.415.2:519.17:656.078

**VOXEL-BASED MODELING OF THE EFFECT OF NON-UNIFORM
FIBER DISTRIBUTION ON THE ELASTIC PROPERTIES OF
FIBER-REINFORCED COMPOSITES**

V. Zhykhariev¹[0009-0006-0640-5895], Ph.D., M. Shapovalova²[0000-0002-5385-5761],
Ph.D., S. Misiura³[0000-0002-5048-1610], Ph.D., O. Vodka⁴[0000-0002-4462-9869]

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Ukraine

EMAIL: ¹Vladyslav.Zhykhariev@infiz.khpi.edu.ua,

²Mariia.Shapovalova@khpi.edu.ua,

³serhii.misiura@khpi.edu.ua, ⁴oleksii.vodka@khpi.edu.ua

**ВОКСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ НЕРІВНОМІРНОГО
РОЗПОДІЛУ ВОЛОКОН НА ПРУЖНІ ВЛАСТИВОСТІ
ВОЛОКНИСТИХ КОМПОЗИТІВ**

В. Жихарєв, Ph.D., М. Шаповалова, Ph.D., С. Місіюра, Ph.D., О. Водка

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Україна

***Анотація.** У роботі досліджено вплив нерівномірного розподілу волокон на ефективні пружні властивості волокнистих композитів. Запропоновано підхід, що поєднує воксельне моделювання, стохастичну генерацію мікроструктури та метод скінченних елементів для чисельної гомогенізації. Проведено порівняння регулярних і стохастичних моделей. Отримані результати підтверджують, що неоднорідність розташування волокон істотно впливає на ефективні механічні характеристики композитного матеріалу.*

***Ключові слова:** волокнисті композити, воксельне моделювання, метод скінченних елементів, мікроструктура, пружні властивості, гомогенізація.*

Abstract. This paper investigates the influence of non-uniform fiber distribution on the effective elastic properties of fiber-reinforced composites. A computational approach combining voxel-based modeling, stochastic microstructure generation, and finite element homogenization is proposed. Regular and stochastic representative volume elements are compared. The results demonstrate that microstructural heterogeneity significantly affects the effective mechanical properties and should be considered in the numerical design and analysis of composite materials.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Keywords: *fiber-reinforced composites, voxel-based modeling, finite element method, microstructure, elastic properties, homogenization.*

Сучасні волокнисті композити широко застосовуються в авіаційній, автомобільній, будівельній та машинобудівній галузях завдяки високим показникам питомої міцності, жорсткості та малої маси. Одним із ключових завдань при проектуванні таких матеріалів є визначення їх ефективних пружних властивостей. Більшість існуючих моделей мікромеханіки базуються на припущенні про регулярне розташування армуючих волокон, тоді як реальна мікроструктура композитів характеризується випадковим розподілом волокон та локальною неоднорідністю [1]. Ігнорування цих особливостей може призводити до похибок під час прогнозування механічної поведінки матеріалу.

У роботі досліджено вплив нерівномірного розподілу волокон на ефективні пружні властивості волокнистих композитів із використанням воксельного моделювання. Для аналізу сформовано представницькі об'єми матеріалу з регулярним квадратним та стохастичним розташуванням волокон, представлені на рис.1.

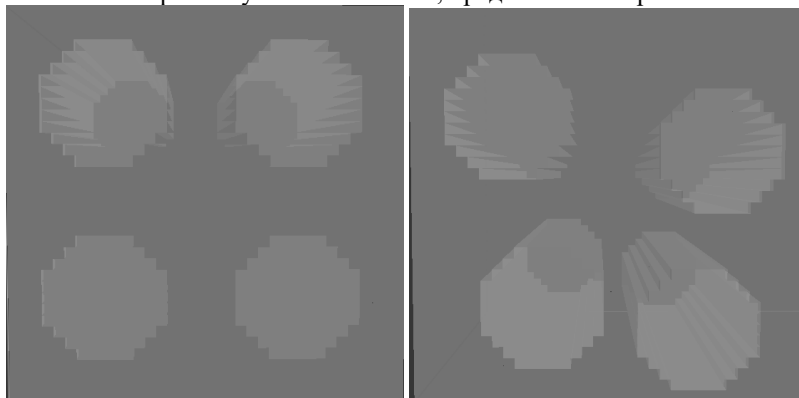


Рисунок 1. Регулярне та стохастичне розташування волокон у представницькому об'ємі композиційного матеріалу.

Стохастичні моделі створювалися шляхом випадкового зміщення центрів волокон із дотриманням заданої об'ємної частки армувального матеріалу та виключенням їх взаємного перетину. Побудовані мікроструктури були перетворені у воксельні скінченно-елементні моделі, що дозволило виконати чисельну гомогенізацію та визначити ефективні пружні характеристики композиту.

Для кількісної оцінки неоднорідності мікроструктури використано методи цифрової обробки зображень, за допомогою яких визначено координати центрів волокон і розраховано відстані до найближчих сусідів. Статистичний аналіз отриманих даних підтвердив суттєву неоднорідність стохастичних моделей порівняно з регулярною структурою. Проведене чисельне моделювання показало, що випадковий характер розташування волокон впливає на ефективні модулі пружності та коефіцієнти Пуассона, а також призводить до збільшення статистичного розкиду механічних характеристик. При цьому середні значення пружних параметрів залишаються близькими до результатів для регулярної моделі, однак стохастичний підхід значно точніше відображає реальну структуру композиційного матеріалу [2].

Отримані результати свідчать про доцільність використання воксельного моделювання та стохастичних представницьких об'ємів під час дослідження волокнистих композитів. Запропонований підхід забезпечує більш достовірне прогнозування ефективних пружних властивостей і може бути використаний для оптимізації структури композиційних матеріалів та підвищення точності їх чисельного аналізу.

Література

1. Liu, Y., Yan, Y., Yang, L., He, M., et al. (2012). Prediction on macroscopic elastic properties of interphase-contained long-fiber-reinforced composites and multiple nonlinear regression analysis. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 31(17), 1143–1157. <https://doi.org/10.1177/0731684412454461>
2. Moussa, W. A., Mohamed, Y. S., & Abdelbary, A. (2025). Finite-element homogenization of short glass fiber/silicone rubber composites: Experimental validation of RVE and orientation-averaged RVE methods. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. <https://doi.org/10.1177/07316844251409846>

UDC 004.738.5

LAYOUT AND FRAME STRUCTURES OF THE HTTP PROTOCOL IN ASYNCHRONOUS AJAX EXECUTIONS ACROSS VARIOUS WEB FRAMEWORKS

N. Rudnikova^{1[0009-0008-7057-4241]}, **Dr.Sci., O. Barabash**^{2[0000-0003-1715-0761]}
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic
Institute", Ukraine
EMAIL: ¹rudnikova.n.s.-tvz51f@edu.kpi.ua, ²barabash-oleg@lil.kpi.ua

СТРУКТУРИ МАТЕРІАЛУ ТА ФРЕЙМІВ ПРОТОКОЛУ HTTP В АСИНХРОННИХ ВИКОНАННЯХ AJAX НА РІЗНИХ ВЕБ- ФРЕЙМВОРКАХ

Н. Руднікова, Dr.Sci., О. Барабаш
Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», Україна,

***Анотація.** У дослідженні досліджуються структури фреймів протоколу HTTP та асинхронні шаблони виконання AJAX у сучасних веб-фреймворках. Шляхом систематичного аналізу зворотних викликів Dash у реалізаціях Django та Express.js, дослідження розглядає механізми POST-запитів, життєві цикли неблокуючого XHR та стратегії ініціалізації компонентів. Методологія використовує порівняльний аналіз циклів запит-відповідь, серіалізацію корисного навантаження та архітектури, керовані подіями. Результати показують, що розуміння фреймів HTTP на рівні інфраструктури дозволяє зменшити сприйняту затримку на 40-60% завдяки оптимізованому виконанню зворотних викликів та управлінню життєвим циклом. Результати створюють основу для проектування асинхронних веб-застосунків зі збалансованою продуктивністю та користувацьким досвідом.*

***Ключові слова:** AJAX-запити, фреймворк Dash, Django, HTTP-протокол, Node.js, асинхронний JavaScript, веб-архітектура*

***Abstract.** The study investigates HTTP protocol frame structures and asynchronous AJAX execution patterns across modern web frameworks. Through systematic analysis of Dash callbacks in Django and Express.js implementations, the research examines POST request mechanisms, non-blocking XHR lifecycles, and*

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

component initialization strategies. The methodology employs comparative benchmarking of request-response cycles, payload serialization, and event-driven architectures. Results demonstrate that infrastructure-level understanding of HTTP frames enables 40-60% reduction in perceived latency through optimized callback execution and lifecycle management. The findings establish a framework for designing asynchronous web applications with balanced performance and user experience.

Keywords: AJAX requests, Dash framework, Django, HTTP protocol, Node.js, asynchronous JavaScript, web architecture

УДК 519.876:655.3:676.274

**MATHEMATICAL MODELING OF THE FORMATION PROCESS
OF BRAILLE ELEMENTS ON PACKAGING BOARD**

Ph.D., V. Mayik^{1[0000-0002-6650-2703]}, **Ph.D., L. Mayik**^{2[0000-0001-8552-0942]},

Ph.D., B. Havrysh^{3[0000-0003-3213-9747]}

Lviv Polytechnic National University, Ukraine

EMAIL: ¹vol.mayik.2015@gmail.com, ²ludmyla.maik@gmail.com,

³dana.havrysh@gmail.com

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ
ФОРМУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ШРИФТУ БРАЙЛЯ
НА ПАКУВАЛЬНИХ КАРТОНАХ**

Ph.D., В. Майк, Ph.D., Л. Майк, Ph.D., Б. Гавриш

Національний університет «Львівська політехніка», Україна

Анотація. Метою дослідження є математичне моделювання процесу формування елемента шрифту Брайля на пакувальному картоні. На основі експериментальних досліджень побудовано квадратичні апроксимаційні залежності типу $p = p(h)$ для картонів різної поверхневої маси із використанням методу найменших квадратів і встановлено, що коефіцієнт детермінації R^2 перебуває в межах 0,92–0,998. На основі отриманих результатів побудовано узагальнену математичну модель процесу $p = f(h, m_s)$.

Ключові слова: математична модель, метод найменших квадратів, лінійна інтерполяція, похибки, шрифт Брайля, пакувальний картон.

Abstract. The study aims to develop a mathematical model of the Braille dot formation process on packaging paperboard. Based on experimental data, quadratic

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

approximation functions of the form $p = p(h)$ were obtained for paperboards with different grammages using the least squares method. The coefficient of determination (R^2) ranged from 0.92 to 0.998. A generalized mathematical model, $p = f(h, m_s)$, was developed.

Keywords: *mathematical model, least squares method, linear interpolation, errors, Braille script, packaging board.*

У контексті вимог міжнародних нормативних документів (стандарти ISO), Європейського Союзу (Постанова ЄС 2004/27/EC) та національних стандартів окремих країн, зокрема і в Україні, пакування багатьох категорій товарів (наприклад, фармацевтичної продукції) повинно містити обов'язкове маркування шрифтом Брайля для користувачів з порушеннями зору [1, 2]. Особливу увагу у цьому контексті приділяється якості формування рельєфних елементів шрифту Брайля на картонному пакуванні, так як правильне та надійне зчитування інформації безпосередньо впливає на безпеку споживачів, а одним із ключових параметрів, що визначає надійність тактильного зчитування інформації, є висота рельєфного елемента шрифту Брайля. Проведено дослідження процесу формування елементів шрифту Брайля на макулатурному некрейдованому картоні типу ММ середньої пухкості. У процесі тиснення основними параметрами, які впливають на величину технологічного тиску, є висота рельєфного елемента шрифту Брайля h , мм, поверхнева маса картону m_s , кг/м²; товщина картону z , мм; об'ємна густина картону ρ , г/см³, тому вихідним параметром математичної моделі є технологічний тиск формування рельєфного елемента: $p = f(h, m_s, z, \rho)$. Оскільки між параметрами m_s , z та ρ спостерігається високий рівень кореляції, то були побудовані квадратичні апроксимаційні залежності типу $p = p(h)$ для картонів різної поверхневої маси із використанням методу найменших квадратів і встановлено, що коефіцієнт детермінації R^2 перебуває в межах 0,92 – 0,998.

На основі результатів експериментальних досліджень розроблена узагальнена математична модель, яка може бути використана як інструмент прогнозування технологічного тиску під час формування елементів шрифту Брайля на пакувальних картонах різної поверхневої маси та для оптимізації параметрів процесу тиснення.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Література

1. European Parliament and Council of the European Union. (2004). Directive 2004/27/EC of the European Parliament and of the Council of 31 March 2004 amending Directive 2001/83/EC on the Community code relating to medicinal products for human use. Official Journal of the European Union, L136, 34–57.
2. International Organization for Standardization. (2013). ISO 17351:2013. Packaging—Braille on packaging for medicinal products. Author.

УДК 004

**A CONCEPT OF USING GRAPH FORMAT OF INFORMATION
ORGANIZATION FOR CONDUCTING DISCOURSES**

A. Sidielnikova¹, Ph.D., N.Rudnichenko²[0000-0002-7343-8076]

Odesa Polytechnic National University, Ukraine

EMAIL: ¹9482162@stud.op.edu.ua, ²nickolay.rud@gmail.com

**КОНЦЕПЦІЯ ВИКОРИСТАННЯ ГРАФОВОГО ФОРМАТУ
ОРГАНІЗАЦІЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ДИСКУРСІВ**

A. Сидельнікова, Ph.D., М. Рудніченко

¹Національний університет «Одеська політехніка», Україна,

Анотація. Визначено типові використання різних форматів організації інформації (ФОІ). Ідентифіковано чинники, що впливають на продуктивність дискусій. Проаналізовано взаємодію галопу Гіша та ad hominem з різними ФОІ.

Ключові слова: дискурс, організація інформації, графіки

Abstract. Common usages for various formats of information organization are defined. Factors with impact on a discussion's productivity are identified. Interactions of Gish gallop and ad hominem with various FIO are analyzed.

Keywords: discourse, information organization, graphs

Традиційними ФОІ в контексті дискусій є ланцюг (розмови, чати) та дерево (коментарі, форуми). Всі наведені приклади мають елементи графового ФОІ (посилання), але їх занадто активне використання часто призводить до ускладнення навігації розмовою.

Чисті та напівграфові ФОІ використовуються як бази знань (локальні вікі проєктів [1], Obsidian [2]), але їх пряме використання для комунікації не є поширеним. До причин можна навести високу

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

складність організації відповідного UI у 90-х та 00-х, коли стандартизувалися рішення для типових комунікаційних юз-кейсів; потребу встановлення локальних правил структурування графа для забезпечення подальшої навігації; сформовану сталість використання графових ФОІ у рекомендаційних системах та базах знань, де даний формат було оптимізовано для читання його машинами [3]; тощо. Втім, графові ФОІ мають потенціал вирішення ряду перешкод до продуктивних дискурсів, з якими стикаються традиційні формати.

Метою роботи є дослідження аспектів концепції використання графового формату організації інформації для проведення дискурсів.

Деякі чинники, що впливають на продуктивність дискусії: риторичні навички учасників; інформованість учасників; доступний інструментарій використаного медіуму.

Риторичні техніки часто використовуються неусвідомлено (реф), та є направлені на «виграш» у дискусії замість пошуку істини. Варто зазначити, що щонайменш в деяких випадках можна спостерігати очевидну оптимізацію під ланцюговий ФОІ.

Так, галоп Гіша користується об'ємністю детального розглядання окремих тем, перегружуючи співбесідника швидкою згадкою ряду можливо неточних прикладів чи аргументів. У ланцюговому ФОІ ціна взаємодії з репліками росте з їх давністю. Взаємодія з кожним елементом списку аргументів підвищує ціну взаємодії з іншими. У графовому ФОІ ця техніка не є ефективною, тому що ціна взаємодії з реплікою росте з її дистанцією від розташування на графі окремого учасника полілогу, а не її фактичної давності. Ad hominem направлений на дискредитацію реплік співрозмовника. У випадку ланцюжного ФОІ, якщо цей метод має успіх, кожний співбесідник має передивитися своє відношення до його реплік, що є дуже енергомісткою задачею. Якщо він не має успіх, ділянка ланцюга з його участю стає мусорною інформацією. У графовому форматі кожна окрема репліка може отримати повноцінну оцінку незалежно від авторства; крім того, репліки можуть бути реструктуровані за вільно визначеними принципами – спрощені аргументи можуть бути відокремлені від підтверджених, сумбурний виклад подій може бути

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

викладений послідовно, комплексне відношення одиниць знання може бути відображено, суттєво, мапою.

Інформованість учасників стає меншою проблемою, коли до будь-якої ділянки дискусії може під'єднатися будь-хто будь-коли. З традиційними ФОІ проблема встає з «будь-коли» в силу вищезазначеної динаміки росту ціни інтеракції з давнішими репліками. Також варто враховувати зайнятість простору розмови поточною темою; ведення двох під-тем за раз можливе у деревоподібних форматах, але у ланцюгах призводить лише до зниження ефективності обміну інформацією за обома темами. Також, у випадку високої активності чату не всі учасники можуть ознайомлюватися зі всіма репліками. Крім того, деякі теми (щодо ідеологій, економіки, тощо) є занадто об'ємними та комплексними для повноцінного обговорення у традиційних форматах. Не-експерти за темою не знають всієї картини, що призводить до полегшеного розповсюдження дезінформації. Якщо якась дуже продуктивна дискусія на просторах інтернету дійсно відбулася, її дуже складно знайти без наявного прямого посилання до неї. Дезінформація та інші вищевказані моменти створюють самовпевнених не-експертів, які продовжують цикл хибних аргументів. В той же час, коли ці хибні аргументи спростовуються, неінформованість остатку спільноти щодо цього конкретного спростування призводить до того, що ті ж самі аргументи, спростування та питання висловлюються знову і знову.

Виходячи з цих проблем, можна навести наступні функціональні потреби комунікаційної системи, оптимізованої під проведення дискурсів: методи інформування учасників (створена репліка та адресована репліка; навігація дискурсом (пошук, відокремлення та інтеракція з темами/підтемами/аргументами); сталість та легкість пошуку вже записаної інформації; сортування реплік за функціональними типами та їх візуальна ідентифікація; мінімізація бар'єрів для інтеракцій з системою. На даний момент не існує медіа-платформи, яка б покривала всі ці моменти. Існує Obsidian, існують бази знань, але воли оптимізовані під статичне збереження даних, а не дискусії. Існують соціальні мережі з вільними посиланнями між постами, але там є актуальними вже вказані складності пошуку

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

конкретних постів, цикл хибних аргументів та навігаційна непов'язаність окремих дискусій.

В результаті можна зазначити, що використання графових ФОІ для міжлюдських комунікацій є темою, вартою подальшого дослідження.

Література

1. F. Pichavant. Knowledge base statistics - how knowledge bases actually behave in production. Slite. URL: <https://slite.com/learn/knowledge-base-statistics> (date of access: 22.07.2026).
2. Introduction to Obsidian Publish - Obsidian Help. Obsidian - Sharpen your thinking. URL: <https://obsidian.md/help/publish> (date of access: 16.08.2026).
3. Construction of Knowledge Graphs: Current State and Challenges / M. Hofer et al. Information. 2024. Vol. 15, no. 8. P. 509. <https://doi.org/10.3390/info15080509> (date of access: 16.08.2026).

УДК 004.896:656.052

**ASSESSING THE ATTAINABLE HEAD-ROOM OF EVENT-
TRIGGERED ROUTE RE-PLANNING IN DYNAMIC TRANSPORT
FLOWS**

D.Tolkunov^{0009-0000-4670-1134}

Odesa Polytechnic National University, Ukraine

EMAIL: 5693362@as.op.edu.ua

**ОЦІНЮВАННЯ ДОСЯЖНОГО РЕЗЕРВУ ПОДІСВО-
КЕРОВАНОГО ПЕРЕПЛАНУВАННЯ МАРШРУТІВ У
ДИНАМІЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКАХ**

Д. Толкунов

Національний університет «Одеська політехніка», Україна

***Анотація.** Метою роботи є оцінювання впливу моменту перепланування маршруту на якість керуючих рішень. Запропоновано діагностичну верхню межу, що визначає найкращий досяжний результат за фіксованого бюджету перерахунків. На реальних даних ReMS та ERA5 із парними довірчими інтервалами встановлено значущий резерв: ідеальний вибір моментів знижує втрати маршрутизації на 36–42 відсотки та скорочує час польоту на 21–31 хвилину, тоді як прості тригери використовують лише малу його частку.*

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Ключові слова: керуючі рішення, перепланування маршруту, транспортні потоки, обчислювальний бюджет, верхня межа, довірчі інтервали, безпілотні апарати.

Abstract. The work assesses how the timing of route re-optimization affects control decisions. A diagnostic upper bound defines the best result attainable at a fixed re-planning budget. On real PeMS and ERA5 data with paired confidence intervals a significant head-room is established, since ideal timing lowers routing regret by 36 to 42 percent and shortens flight time by 21 to 31 minutes, while simple triggers capture only a small share.

Keywords: control decisions, route re-planning, transport flows, computational budget, upper bound, confidence intervals, unmanned aerial vehicles.

Automated routing of dynamic transport flows relies on a chain of control decisions that covers estimating the state of the environment, computing a route and choosing when to revise it. The first two links are studied in detail, whereas the third is usually fixed by convention and its effect on routing quality is rarely measured. The question is practically significant because every recomputation consumes computing resource, communication bandwidth and energy.

To quantify this effect a diagnostic upper bound is proposed that, at a fixed budget of recomputations, greedily selects the re-planning moments minimising the realised routing cost. Because the bound consults the already realised state of the environment, it is not a deployable strategy but an estimate of the best attainable result. The head-room of a policy is defined as the excess of its cost over this bound according to expression (1).

$$H(B) = C_{policy}(B) - C_{oracle}(B) \quad (1)$$

The study uses three open datasets. For ground flows the hourly PeMS data and the five-minute PeMSD7 data with a real road-network adjacency matrix are applied [1], [2]. For long-range flight the ERA5 wind fields at the 250 hPa level are used [3], and the minimum-time route is built following the Zermelo formulation [4]. The partitions are chronological, all parameters are selected on the training part only, and significance is assessed by a paired bootstrap.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Table 1. Head-room of ideal re-planning moment selection at a matched budget

Domain	Budget	Periodic strategy	Upper bound	Head-room [95% CI]
Ground flow	0.7 %	12.75 %	7.41 %	+5.34 [+4.22, +6.59] pp
Ground flow	2.7 %	6.69 %	4.07 %	+2.62 [+2.17, +3.08] pp
UAV flight	2 replans	14.30 h	13.77 h	+31.4 [+20.8, +44.6] min
UAV flight	5 replans	14.06 h	13.71 h	+21.1 [+11.9, +32.6] min

The results in Table 1 show that the head-room is significant in both domains, since no confidence interval contains zero. For ground flows the ideal choice of moments lowers routing regret by 36 to 42 percent relative to the periodic strategy, and for long-range flight it shortens the time in the air by 21 to 31 minutes. A substantial part of the loss is therefore caused not by the quality of the forecast or of the optimizer but by the moment of recomputation.

The distribution of this head-room across budgets is presented in Figure 1. The left panel shows that the curve of the upper bound lies markedly below the periodic strategy over the whole range, while the gap narrows slowly and is largest at the smallest budget. The right panel compares the attainable head-room with the share actually captured by the trigger based on the change of the environment field, and this share amounts to roughly one sixth.

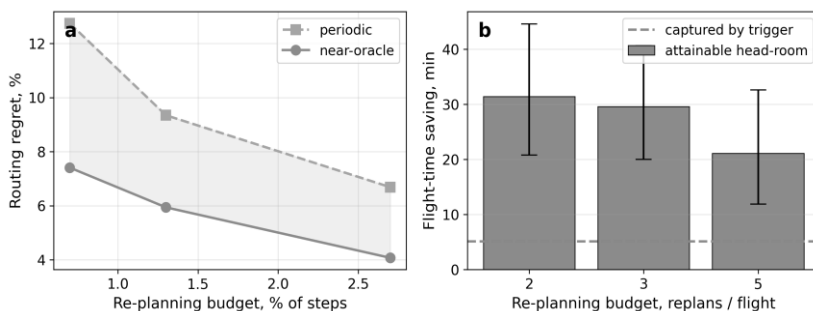


Figure 1. Head-room of re-planning moment selection for ground flow (a) and for UAV flight (b)

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

A natural explanation for the difference between the domains appears to be the periodicity of the environment, yet a controlled model did not confirm this hypothesis. The advantage of the trigger did not vanish for a purely periodic signal, since the trigger concentrates the limited recomputations at moments of rapid change that a periodic signal also contains. The limiting factor is the informativeness of the trigger signal, that is its agreement with the cost of holding a stale plan [5].

The moment of re-planning is therefore an independent and measurable source of control-decision quality, and the proposed upper bound provides a reference for assessing practical strategies. Further research is directed at building triggers that estimate the cost of a stale plan directly, and at validating the results against genuine wind forecasts.

References

1. Lai, G., Chang, W.-C., Yang, Y., & Liu, H. (2018). Modeling long- and short-term temporal patterns with deep neural networks. Proceedings of SIGIR, 95–104. <https://doi.org/10.1145/3209978.3210006>
2. Yu, B., Yin, H., & Zhu, Z. (2018). Spatio-temporal graph convolutional networks. Proceedings of IJCAI, 3634–3640. <https://doi.org/10.24963/ijcai.2018/505>
3. Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., & Horányi, A. (2020). The ERA5 global reanalysis. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 146(730), 1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>
4. Zermelo, E. (1931). Über das Navigationsproblem bei ruhender oder veränderlicher Windverteilung. Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik, 11(2), 114–124. <https://doi.org/10.1002/zamm.19310110205>
5. Elmachtoub, A. N., & Grigas, P. (2022). Smart predict, then optimize. Management Science, 68(1), 9–26. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2020.3922>

UDC 519.642

EVALUATION OF THE ACCURACY OF DYNAMIC SYSTEM MODELING BASED ON ERROR RANKING

O. Tataryn^[0009-0005-3888-6569], **A. Chmelevskiy**^[0009-0008-6450-6875],
D. Filin^[0009-0000-6228-3657], **Y. Serbin**^[0009-0009-0960-2749]

Odesa Polytechnic National University, Ukraine
EMAIL: stech@stud.op.edu.ua

**ОЦІНКА ТОЧНОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ
СИСТЕМ НА ОСНОВІ РАНЖУВАННЯ ПОХИБОК**

О. Татарин, А. Чмелевський, Д. Філін, Ю. Сербін

Національний університет «Одеська політехніка», Україна

***Анотація.** В роботі вирішується задача оцінки точності моделювання динамічних систем на основі ранжування похибок. Отримані результати підтверджують, що запропонований метод зменшує обчислювальні витрати, забезпечуючи при цьому надійну оцінку точності, та дозволяє ефективно прогнозувати похибки реалізації для задач моделювання та керування динамічними системами.*

***Ключові слова:** ідентифікація; нелінійна динаміка; попереднє навчання; швидкість навчання нейронних мереж.*

Abstract. This paper addresses the problem of evaluating the accuracy of dynamic system modeling based on error ranking. The results confirm that the proposed method reduces computational costs while providing a reliable accuracy assessment, and enables effective prediction of implementation errors for dynamic system modeling and control problems.

Keywords: identification; nonlinear dynamics; pre-training; neural networks, training speed

Introduction

Performing calculations to ensure high-quality optimization of dynamic system parameters according to various criteria and to organize effective production and operational control is possible only by developing effective methods for analyzing the operational processes and accuracy of complex dynamic system structures that are being designed and developed [1, 2, 3]. The development of these methods gives rise to a complex set of scientific problems, the solution of which requires a series of scientific studies [4].

The aim of this study is to develop a method for predicting the accuracy of computational implementations of dynamic system models represented by classes of differential and integral equations.

The error-based ranking method

The method can be presented as follows:

1. The class criterion is defined a priori. In other words, at the first stage of the solution, it is necessary to a priori (conditionally) partition the

initial set of matrices Ξ into m classes $\mathbf{Q}_j, j = \overline{1, m}$. However, m should not be chosen too small, since it is clear that the more classes are a priori defined by the selected criterion, the higher the likelihood of obtaining classes of "good" quality. Solving practical problems it is advisable to set $m \approx 10$.

2. $F_{\bar{T}_{ij}}(\tau)$, and the quality measure C_0 for each class $\mathbf{Q}_j$ are defined as $j = \overline{1, m}$ for the selected norms $i (i = \overline{1, n})$. Regarding the computation of $F_{\bar{T}_{ij}}(\tau)$, and C_{ij} , the following should be noted. It is advisable to use numerical methods of analysis in the calculations, which necessitates replacing the set of matrices $\mathbf{Q}_j, j = \overline{1, m}$, with a finite subset $\mathbf{Q}_{jN}$, consisting of N representative matrices of the set $\mathbf{Q}_j$.

3. Define the classes $\mathbf{Q}_j, j = \overline{1, m}$ for which $C_{ij} < C_{i0}$, where C_0 is the minimum class quality estimate. We will assume that there are m_1 such classes. Next, by appropriately modifying the class criterion, we partition

the set $\mathbf{Y}_s \mathbf{Q}_s$ into m_{s_1} subsets $\mathbf{Q}_{s_1}, s_1 = \overline{1, m_{s_1}}, s_1 = \overline{1, m_{s_1}},$ such that $m_{s_1} > m_1$ holds.

4. Using cluster analysis methods, m classes are grouped based on a specified distance function between classes and a class merging criterion. The classes resulting from this grouping form subclasses. Solving test problems shows that performing such a classification of the matrices $\mathbf{Q}_j, j = \overline{1, m}$ allows for a more efficient estimates of the distribution function $\|\Delta \mathbf{x}\|_i$ by determining the class $\mathbf{Q}_j$ to which a specific matrix $\mathbf{A}$ belongs and constructing the distribution function of the values $\bar{T}_{ij} \|\mathbf{A}^{-1}\|_{i\sigma} \|\varepsilon_0\|_i$.

Conclusion

A method is proposed for ranking errors in the implementation of mathematical models of dynamic systems in modeling problems. Unlike the application of the well-known sensitivity theory, the use of the proposed analytical estimates in the form of inequalities should be considered economical and sufficient for further analysis and decision-making regarding the assessment of the accuracy of the obtained solution.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

References

1. Fomin, O. O., Speransky, V. O., Verlan, A. A., Tataryn, O. V., & Chmelevskiy, A. M. (2026). Long short-term memory based reference model method to nonlinear dynamic system identification. Herald of Advanced Information Technology, 9(3), 307–320. <https://doi.org/10.15276/hait.09.2026.20>
2. Fowler, J. W., & Rose, O. (2004). Grand challenges in modeling and simulation of complex manufacturing systems. Simulation: Transactions of the Society for Modeling and Simulation International, 80(9), 469–476. <https://doi.org/10.1177/00375497040443>
3. Tao, F., Xiao, B., Qi, Q., Cheng, J., & Ji, P. (2022). Digital twin modeling. Journal of Manufacturing Systems, 64, 372–389. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.06.015>
4. Yu, P., Wan, H., Zhang, B., Wu, Q., Zhao, B., Xu, C., & Yang, S. (2025). Review on system identification, control, and optimization based on artificial intelligence. Mathematics, 13(6), Article 952. <https://doi.org/10.3390/math13060952>

UDC 004.942

**TWO-DIMENSIONAL IMAGES OF QUADRATIC VOLTERRA
MODELS OF THE OCULOMOTOR SYSTEM IN DIAGNOSTIC
STUDIES**

Dr.Sci. V. Pavlenko¹[0000-0002-5655-4171], **A. Doroshuk**²[0009-0008-2327-4975]

Odesa Polytechnic National University, Ukraine

EMAIL: ¹pavlenko_vitalij@ukr.net, ²7482565@stud.op.edu.ua

**ДВОВИМІРНІ ЗОБРАЖЕННЯ КВАДРАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ
ВОЛЬТЕРРИ ОКОРУХОВОЇ СИСТЕМИ В ДІАГНОСТИЧНИХ
ДОСЛІДЖЕННЯХ**

Dr.Sci. В. Павленко, А. Дорошук

Національний університет «Одеська політехніка», Україна

***Анотація.** Метою дослідження є вивчення властивостей двовимірних зображень квадратичної моделі Вольтерри окуломоторної системи людини. Було проаналізовано зображення, що містять члени першого та другого порядку полінома Вольтерри. Для побудови простору ознак, який використовується для діагностики втоми людини, було застосовано вейвлет-*

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

перетворення. У цій роботі порівнюються метрики точності класифікаторів SVM для просторів ознак, що складаються з моментів вейвлет-коефіцієнтів на другому рівні декомпозиції.

Ключові слова: психофізіологічний стан, окуломоторна система, моделювання, поліноми Вольтерри, айтрекінг, машинне навчання, вейвлет-перетворення.

Abstract. *The purpose of this work is to investigate the properties of two-dimensional images of the quadratic Volterra model of the human oculomotor system. Images containing first- and second-order terms of the Volterra polynomial were analyzed. Wavelet decomposition was used to construct a feature space, which is used to diagnose person's fatigue. This paper compares the performance metrics of SVM classifiers for feature spaces consisting of wavelet coefficient moments at second decomposition level.*

Keywords: *psychophysiological state, oculomotor system, modeling, Volterra polynomials, eye tracking, machine learning, wavelet transform.*

Today, eye tracking is successfully used in diagnostic applications, such as assessing fatigue levels or disorders [1, 2, 3]. Eye-tracking-based diagnostic tasks require the proper selection of features that are informative for the task at issue. One way to derive a set of features for further machine learning-based diagnosis is to model the human oculomotor system as a nonlinear dynamic system. This study used a model of the oculomotor system represented by a second-order Volterra polynomial. It accounts for both the linear response of the system and its memory. Data from "input-output" experiments using the Tobii Pro TX300 eye tracker were used to construct it. A system identification method based on step test signals with two different amplitudes was used. The signal consisted of a stimulus (colored dot) on a white screen, which shifted to the right by a distance corresponding to the amplitude. The experimental results made it possible to construct a Volterra polynomial model using the least-squares method.

The transient response and the diagonal section of the quadratic transient response were obtained for a set of 16 experiments: 8 in the morning, corresponding to a low level of fatigue, and 8 in the evening, corresponding to a high level. Images containing the system responses mentioned above were analyzed. Square images were used to ensure sufficient accuracy. A size of 1024 was chosen, a power of two, because in wavelet decomposition

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

the side length of the square is halved at each level. The eye tracker used has a sampling rate of 300 Hz, but to ensure compatibility with other devices, spline interpolation using second-order B-splines was employed.

The images were subjected to second-level wavelet decomposition using the Daubechies 8 wavelet [4], which is implemented as an orthogonal bank of filters (low-pass and high-pass). At each level of decomposition, images are obtained by applying filters in different combinations – namely, LL, LH, HL, and HH – which correspond to different features.

To reduce dimensionality the moments of the distributions of wavelet coefficients were used, namely mean, variance, skewness, kurtosis, and the fifth central moment. The results are given in Table 1 and 2.

Table 1. Results for original dataset classification

Feature pair	Accuracy	F1-Score
L2_LH_mean & L1_LH_skew	0.8750	0.866667
L2_LH_skew & L1_LH_skew	0.8750	0.866667
L1_LH_skew & L1_LH_kurtosis	0.8125	0.808333
L1_LH_skew & L1_HH_mean	0.8125	0.808333
L2_LL_skew & L1_LH_skew	0.8125	0.8

Table 2. Results for augmented dataset classification

Feature pair	Accuracy	F1-Score
L2_HH_mom5 & L1_LH_skew	0.9375	0.936881
L1_LH_skew & L1_LH_kurtosis	0.921875	0.921195
L2_HH_skew & L1_LH_skew	0.921875	0.920044
L2_LL_skew & L1_LH_skew	0.90625	0.905509
L1_LH_mean & L1_LH_mom5	0.90625	0.905258

The classifier metrics for feature pairs from the original datasets and the augmented dataset, where 1%, 3%, and 5% white noise was added to the features were compared. The results show that the first-order moments and their skewness are the most significant. The maximum accuracy achieved for the RBF-kernel SVM was approximately 0.875 for the original dataset and 0.938 for the augmented dataset.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

References

1. Pavlenko, V., Milosz, M., and Dzienkowski, M. "Identification of the Oculo-Motor System Based on the Volterra Model Using Eye Tracking Technology," Journal of Physics: Conference Series, 1603, 2020, 012011.
2. M. Daniol, D. Hemmerling, J. Sikora, P. Jemiolo, M. Wodzinski and M. Wojcik-Pedziwiatr, "Eye-tracking in Mixed Reality for Diagnosis of Neurodegenerative Diseases," in: Proceedings of the 46th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), Orlando, FL, USA, 2024, pp. 1-4.
3. Diotaiuti Pierluigi, Giulio Marotta, Francesco Di Siena, Salvatore Vitiello, Francesco Di Prinzio, Angelo Rodio, Tommaso Di Libero, Lavinia Falese, and Stefania Mancone. "Eye Tracking in Parkinson's Disease: A Review of Oculomotor Markers and Clinical Applications," Brain Sciences 15, no. 4 (2025) 362.
4. Akujuobi, Cajetan M. "Wavelets and wavelet transform systems and their applications: a digital signal processing approach," Vol. 1. Cham: Springer International Publishing, 2022.

UDC 004.85:622.7

**STATISTICAL COMPARISON OF REGRESSION MODELS FOR
MAGNETIC ORE QUALITY PREDICTION ON A CONVEYOR-
LINE SORTING SYSTEM**

B. Kiselov^{1[0009-0007-9338-1031]}, **Ph.D., A. Senko**^{2[0000-0002-4104-8372]},
Dr.Sci., S. Semerikov^{3[0000-0003-0789-0272]}, **Ph.D., D. Kuznetsov**^{4[0000-0002-2021-5207]}
^{1,2,3,4}*Kyryvi Rih National University, Ukraine*
EMAIL: ¹kiselov.bogdan@knu.edu.ua, ²antonsenko@knu.edu.ua,
³semerikov@acnsci.org, ⁴kuznetsov.dennis.1706@knu.edu.ua

**СТАТИСТИЧНЕ ПОРІВНЯННЯ МОДЕЛЕЙ РЕГРЕСІЇ ДЛЯ
ПРОГНОЗУВАННЯ ЯКОСТІ МАГНЕТИТОВОЇ РУДИ НА
КОНВЕЄРНІЙ ЛІНІЇ СОРТУВАННЯ**

Б. Кісельов¹, **Ph.D., А. Сенько, Dr.Sci. С. Семеріков, Ph.D., Д. Кузнецов**
^{1,2,3,4}*Криворізький національний університет, Україна*

***Анотація.** Розглянуто задачу прогнозування показника магнітної якості $KTI0valueMax$ для окремих фрагментів руди на конвеєрній лінії сортування за сімома ознаками магнітоіндукційного та лазерного сенсорів. П'ять*

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

регресійних моделей порівняно за схемою GroupKFold ($k = 20$) з налаштуванням гіперпараметрів Optuna, критерієм Фрідмана та апостеріорними тестами Немені й Вілкоксона з поправкою Голма. XGBoost досяг найвищого середнього $R^2 = 0,790$ і статистично значуще переважив гребеневу регресію, тому рекомендований до впровадження.

Ключові слова: сенсорне сортування руди, магнітоіндукційний сенсор, регресія з учителем, XGBoost, крос-валідація GroupKFold, критерій Фрідмана.

Abstract. Five supervised regression models are compared for predicting the magnetic quality indicator KT10valueMax of ore fragments on a conveyor-line sorting system from seven features of two sensors. Generalisation was estimated by GroupKFold ($k = 20$) with per-fold Optuna tuning; the score vectors were compared by the Friedman test with Nemenyi and Wilcoxon–Holm post-hoc tests. XGBoost attained the highest mean R^2 (0.790), statistically outperformed Ridge regression and is recommended for deployment.

Keywords: sensor-based ore sorting, magnetic induction sensor, supervised regression, XGBoost, GroupKFold cross-validation, Friedman test.

Average ore grades keep falling, so the removal of waste rock before comminution remains one of the few measures that reduce cost and environmental load at once [1]. Sensor-based ore sorting performs this task on single-piece conveyor lines, and multi-sensor fusion with machine learning is regarded as the most promising route for complex ores [2]. The choice of algorithm, however, is rarely justified statistically: performance gaps on industrial sensor data are often smaller than sampling noise, and selection by mean score alone is a recognised source of false conclusions [3,4]. The aim of the study is therefore to compare five supervised regression models – HistGradientBoosting (HGB), Random Forest (RF), Extreme Gradient Boosting (XGBoost), Support Vector Regression (SVR) and Ridge regression – under group-aware cross-validation and non-parametric significance testing.

The data come from an industrial conveyor-line sorter with a magnetic induction sensor and a laser scanner and comprise 4,161 measurements from 90 single-sided scans of 45 ore pieces of 14 batches. Seven predictors are used: Volume, Area, MaxHeight, CenterDeviation, UsedCoilArea, SensorTemp and SensorValueRAW. Volume and Area are approximations obtained from a single top-down scan rather than direct measurements.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Generalisation was estimated with GroupKFold at $k = 20$, with the scan identifier as grouping variable, so no scan appeared on both sides of a split. Imputation and standardisation were fitted on training partitions only, and each model was tuned per fold by Optuna (100 trials). The per-fold R^2 vectors were compared by the Friedman test (1):

$$\chi_F^2 = \frac{12k}{m(m+1)} \sum_{j=1}^m \left(\bar{R}_j - \frac{m+1}{2} \right)^2 \quad (1)$$

where k is the number of folds; m is the number of models; $\bar{R}_j$ is the mean rank of model j [4]. Rejection was followed by the Nemenyi test and by pairwise Wilcoxon signed-rank tests with Holm correction (Table 1).

Table 1. Aggregate performance over 20 GroupKFold folds

Model	Mean R^2	Std R^2	Min R^2	Mean RMSE	Mean rank
XGBoost	0.7900	0.2138	0.1595	9.32	2.00
RF	0.7768	0.2273	0.1030	10.37	2.70
SVR	0.7141	0.2371	0.1099	22.04	3.10
Ridge	0.6371	0.3336	-0.3515	15.25	4.20
HGB	0.4288	1.4306	-5.7159	11.77	3.05

XGBoost attained the highest mean R^2 and the lowest mean RMSE, with RF close behind; Ridge remained competitive (0.6371), indicating a substantial linear component in the mapping. Two folds failed and are reported rather than removed: HGB reached $R^2 = -5.716$ in Fold 3 and SVR RMSE = 224.49 in Fold 17, where held-out fragments lay outside the training support.

The Friedman test rejected equal ranks, $\chi^2(4) = 20.32$, $p = 0.000432$. Nemenyi separated XGBoost from Ridge ($p = 0.0001$) and RF from Ridge ($p = 0.0227$); after Holm correction only XGBoost–Ridge survived ($p = 0.0027$, $p_{\text{Holm}} = 0.0271$). At $k = 10$ Wilcoxon–Holm rejects no pair, since the attainable p -values are too coarse [3,4].

Ensemble tree methods capture the non-additive interaction between fragment geometry and electromagnetic response through recursive splits, which explains their advantage over the linear baseline. XGBoost is recommended for deployment, with RF as a robust alternative; superiority was established statistically only against Ridge, and non-significant differences must not be read as equivalence. The principal limitations are

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

the approximate single-sided geometry and scan-level rather than piece-level grouping.

References

1. Peukert, D., Xu, C., & Dowd, P. (2022). A review of sensor-based sorting in mineral processing: The potential benefits of sensor fusion. *Minerals*, 12(11), 1364. <https://doi.org/10.3390/min12111364>
2. Adewuyi, S. O., Anani, A., Luxbacher, K., & Ndlovu, S. (2025). From single-sensor constraints to multisensor integration: Advancing sustainable complex ore sorting. *Minerals*, 15(11), 1101. <https://doi.org/10.3390/min15111101>
3. Rainio, O., Teuho, J., & Klén, R. (2024). Evaluation metrics and statistical tests for machine learning. *Scientific Reports*, 14, 6086. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-56706-x>
4. Demšar, J. (2006). Statistical comparisons of classifiers over multiple data sets. *Journal of Machine Learning Research*, 7, 1–30.

УДК 004.94:004.78

METHODOLOGY FOR BUILDING A DIGITAL TWIN OF AN IOT SYSTEM

Y. Shcherbyna^[0009-0002-0150-3091], **Ph.D.**, **I. Shpinareva**^[0000-0001-9208-4923]

Odesa I.I. Mechnikov National University, Ukraine

EMAIL: ¹shcherbinag2001@gmail.com, ²ishpinareva@gmail.com

МЕТОДОЛОГІЯ ПОБУДОВИ ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА ІОТ СИСТЕМИ

Є. Щербина, Ph.D., І. Шпінарева

Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова, Україна

Анотація. У роботі проаналізовано сучасні методології побудови цифрових двійників ІоТ-систем, виявлено проблемні місця та сформульовано ключові вимоги. Метою дослідження є розробка універсального методологічного підходу до побудови цифрового двійника інформаційної системи. У результаті запропоновано інноваційну альтернативну методологію побудови цифрового двійника ІоТ-системи, яка базується на п'ятишаровому представленні даних та була успішно протестована на реальних пристроях.

Ключові слова: ІоТ, ПоТ, цифрові двійники, інформаційна система, розподілена система, синхронізація станів, аналіз даних.

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Abstract. *This paper analyzes current methodologies for building digital twins of IoT systems, identifies problem areas and formulates key requirements. The aim of the study is to develop a universal methodological approach to building a digital twin of an information system. As a result, an innovative alternative methodology for building a digital twin of an IoT system is proposed, which is based on a five-layer data representation and has been successfully tested on real devices.*

Keywords: *IoT, IIoT, digital twins, information system, distributed system, state synchronization, data analysis*

Розвиток технологій та ускладнення процесів на підприємствах спонукають бізнес збільшувати впровадження цифровізації та автоматизації. Ключовими технологіями в даних задачах стають IoT та цифрові двійники [1]. Впровадження цих технологій разом із іншими інструментами дозволили виробничим компаніям скоротити витрати на 5-30% та підвищити продуктивність на 5-40% [2].

Однак, інтеграція IoT та побудова цифрових двійників є складною задачею, оскільки потребує створення системи, що здатна: обробляти гетерогенні дані, отримані з пристроїв; дистанційно керувати станами пристроїв; забезпечувати швидкий та безпечний обмін даними між системою й реальними пристроями. Суттєвий розвиток методів машинного навчання й аналізу даних накладає додаткові властивості, такі як: обробка великого об'єму даних, в тому числі історичних; збагачення даних контекстом виконання в рамках процесів усієї системи; видалення зашумлених й некоректних даних [3, 4].

Концептуально існуючі методології створення цифрових двійників та інформаційної системи можна розділити на дві основні категорії: архітектури цифрових двійників та процедури проектування цифрових двійників. В результаті аналізу виявлено наступні прогалини: відсутність уніфікованих частин, з яких має складатися інформаційна система та цифрові двійники; обмежена відповідність зазначеним характеристикам; фокусування на вирішенні конкретної бізнес-задачі, що робить підхід немасштабованим на інші галузі [5].

У роботі запропоновано нову методологію системи, що опрацьовує цифрові двійники і складається з наступних шарів: шар даних середовища, шар даних цифрових двійників, шар зв'язку між шаром даних середовища та шаром даних цифрових двійників, шар контролю

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

даних й шар зв'язку між шаром цифрових двійників та шаром контролю даних. Для кожного шару описана зона відповідальності та ключові властивості, що робить методологію універсальною для використання у різноманітних задачах із використанням різної комбінації технологій. Для опробації підходу створено стенд із використанням контролера Raspberry Pi 5, модуля реле Waveshare Modbus RTU Relay (D) та локального комп'ютеру, на якому розгорнута інформаційна система. Під час тестування зібрано наступні метрики: оброблених подій на хвилину – 623.3 із середньою обробкою від кіневого пристрою до інтерфейса користувача у 98.2 мілісекунди, що доказує роботоспроможність запропонованої методології.

Втім існує потреба у стандартизації підходів до імплементації методології, формуванні уніфікованого технологічного стеку та стеку специфікацій, а також більш широке тестування із розширеною кількістю метрик для ідентифікації слабких місць.

Література

1. Patel K. K., Patel S. M. Internet of Things-IoT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges // IJES, Volume 6 Issue No. 5, 2016. <https://doi.org/10.4010/2016.1482>
2. Attaran S., Attaran M., Celik B. G. Digital Twins and Industrial Internet of Things: Uncovering operational intelligence in industry 4.0 – Decision Analytics Journal 0(January 10) :100398, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2024.100398>
3. Yang L., Shami A. IoT Data Analytics in Dynamic Environments: From An Automated Machine Learning Perspective //Engineering Applications of Artificial Intelligence (Elsevier, IF:7.8), 2022 <https://doi.org/10.48550/arXiv.2209.08018>
4. Rane N. L., Chika O. E., Rane J. Business intelligence systems integrating artificial intelligence, big data analytics, machine learning, internet of things, and blockchain//International Journal of Applied Resilience and Sustainability 2(2): 367-395. <https://doi.org/10.70593/deepsci.0202014>
5. Carrión E., Pastor Ó. A systematic review of methodologies for developing Digital Twins: Insights and recommendations for effective implementation //Companion Proceedings of the 16th IFIP WG 8.1 Working Conference on the Practice of Enterprise Modeling and the 13th Enterprise Design and Engineering Working Conference, November 28 – December 1, 2023, Vienna, Austria. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3645/dte2.pdf>

УДК 004.8:004.93:004.415.2

A METHOD FOR CONSTRUCTING A STRATIFIED TEST SET OF REAL-WORLD UML DIAGRAMS

V. Polishchuk^[0009-0000-2161-4560], Ph.D., V. Skidan^[0000-0002-8358-9759]

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

EMAIL: knutd@knutd.edu.ua

МЕТОД ПОБУДОВИ СТРАТИФІКОВАНОГО ТЕСТОВОГО НАБОРУ РЕАЛЬНИХ UML-ДІАГРАМ

В. Поліщук, Ph.D., В.Скідан

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

Анотація. Оцінювання мультимодальних великих мовних моделей у задачі відновлення коду PlantUML за зображенням потребує тестового набору реальних діаграм. Запропоновано метод побудови такого набору з корпусу відкритих репозиторіїв: відсіювання вироджених зображень, дедуплікація за нормалізованим кодом, перевірка типу діаграми парсером, стратифікація за складністю з візуальною валідацією та обмеження на репозиторії. Результатом є відтворюваний відкритий тестовий набір із 1000 діаграм класів і послідовності.

Ключові слова: UML, PlantUML, еталонний набір, тестовий набір, мультимодальні великі мовні моделі, стратифікована вибірка, відтворюваність.

Abstract. Evaluating multimodal large language models on image-to-PlantUML reconstruction requires a benchmark of real diagrams. The paper presents a method for constructing one from a mined corpus: filtering degenerate renders, normalized deduplication, parser-based validation of type labels, visually validated complexity stratification, and repository-disjoint sampling. The result is a reproducible, open test set of 1,000 class and sequence diagrams.

Keywords: UML, PlantUML, benchmark, test set, multimodal large language models, stratified sampling, reproducibility.

Multimodal large language models can generate PlantUML code from an image of a UML diagram, but measuring how well they do it requires a benchmark of real diagrams at a realistic scale. Published evaluations rest on a few manually inspected examples [1], so the difficulty found in real software projects is not represented. This work presents a method for

constructing such a benchmark from a mined corpus. The case study is a test set of 1,000 class and sequence diagrams, built from an open dataset of 143,427 PlantUML diagrams mined from open-source repositories [2].

In the corpus a multi-block source file splits into several diagrams that share one blob identifier, so diagrams are keyed by source filename. A diagram is eligible when the metadata marks it as a pure class or sequence diagram, its structure was extracted without error, its source is not truncated, it holds at most 50 elements, and its repository is known. These criteria yield 106,348 candidates. Three filters then remove diagrams whose rendered image cannot serve as a faithful single-image input: sources that render to more than one page (309), images clipped by the renderer (595), and images with an aspect ratio above 8:1 (326). Near-duplicates differing only in comments or whitespace are removed by hashing a normalized copy of each source (2,018 class and 1,452 sequence diagrams). Finally, a type-agreement filter keeps a diagram only when its corpus type label matches the type determined by the PlantUML parser. It removes 128 class and 309 sequence diagrams. The resulting pool of 68,331 class and 32,880 sequence diagrams is therefore guaranteed to parse to the scored type.

The central design choice is the stratification variable for complexity. The element count was rejected: for sequence diagrams the parser counts only participants, and its quartiles of 3, 4 and 6 produce degenerate tiers. A composite index over several size metrics was also rejected, because within each type the candidate metrics are strongly collinear (Spearman ρ from 0.58 to 0.90), and the connection count is the least reliable corpus annotation. The number of non-blank, non-comment source lines was selected instead. It gives well-spread quartile tiers for both types. Because the task input is an image, the tiers were additionally validated as monotonic in visual complexity: the median rendered image area grows across the tiers of both types (Table 1).

Table 1. Median rendered image area by complexity tier, megapixels

Tier	Class	Sequence
Q1	0.65	1.36
Q2	1.46	2.89
Q3	3.17	5.38
Q4	10.86	14.75

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

The test set is a stratified random sample of 125 diagrams per tier and type, drawn under a fixed seed, with at most five diagrams from any one repository, so that no single project dominates a stratum. The benchmark is published as the filename-key list together with the seed and the quartile thresholds, so the exact set is reproducible from the corpus [3].

The method yields a reproducible, repository-disjoint benchmark stratified by a validated complexity variable. None of its steps is specific to UML: the same pipeline applies to any corpus of rendered text-based notation.

References

1. Conrardy, A., & Cabot, J. (2024). From image to UML: First results of image-based UML diagram generation using LLMs. In *Proceedings of the First Workshop on Large Language Models for Model-Driven Engineering (LLM4MDE 2024)* (CEUR Workshop Proceedings, Vol. 3727, pp. 55–65). CEUR-WS.
2. Polishchuk, V. (2026). *UML-in-the-Wild: A dataset of UML diagrams in PlantUML notation from open-source repositories* (Version 2) [Data set]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.20537143>.
3. Polishchuk, V. (2026). *Zero-shot image-to-PlantUML: A multi-level structural evaluation framework and benchmark* (Version 1.0.0) [Computer software]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.21670237>.

UDC 004.8:620.9

OPPORTUNITIES FOR ADAPTIVE CONTROL OF A DOOR LOCK ASSEMBLY PROCESS

I. Iliev^{1[0009-0000-0074-8586]}, **D. Mihaylova**^{2[0000-0003-4251-5216]},
R. Parvanova^[0000-0002-0365-3037], **D. Dzhubarov**^{0000-0002-4085-8154]}

Technical University of Varna, Bulgaria
EMAIL: ¹iliyan.iliev@tu-varna.bg, ²desislava.mihaylova@tu-varna.bg

МОЖЛИВОСТІ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ СКЛАДАННЯ ДВЕРНОГО ЗАМКА

I. Iliev, D. Mihaylova, R. Parvanova, D. Dzhubarov
Technical University of Varna, Bulgaria

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

***Анотація.** У звіті розглядається впровадження адаптивного керування в автоматизованій установці для збирання замків із використанням програмованих логічних контролерів (Delta та Siemens). Завдяки використанню даних у реальному часі адаптивний модуль забезпечує динамічне коригування часових параметрів виробничого циклу. Наведено приклади підтримки в середовищах WPLSoft і TIA Portal, а також описано архітектуру реалізації з використанням додаткового інтелектуального модуля керування.*

***Ключові слова:** вузол замка дверей, технологічний процес, адаптивне керування, модуль керування*

Abstract. The report examines the implementation of adaptive control in an automated lock assembly machine using programmable logic controllers (Delta and Siemens). By utilizing real-time data, the adaptive module enables the dynamic adjustment of timing parameters within the production cycle. Examples of WPLSoft platform and TIA Portal support are presented, along with an implementation architecture utilizing an additional intelligent control module.

Keywords: door lock assembly, technological process, adaptive control, control module

Subject of the current study is an industrial unit for door locks assembling, utilizing automated control via an industrial controller. The primary goal to develop a technically efficient system adaptable to specific conditions is achieved by examining the design principles of this type of machinery, analyzing functionality based on the application, and evaluating the capabilities of industrial controllers and network architecture.

The complex assembly process, including multiple operations, requires technical means for parameters assessment and regulator pre-setting. The implementation utilizes a Delta PLC (WPLSoft) and a Siemens S7-1200 (TIA Portal) within a door lock assembly machine. It comprises the following major steps:

- a start pulse triggers the extension of a pneumatic cylinder;
- the time interval between sensors is measured and recorded;
- compensation is applied, and the result determines the timing for the next cycle;
- the logic is implemented using MOV, ADD, and TON functional blocks.

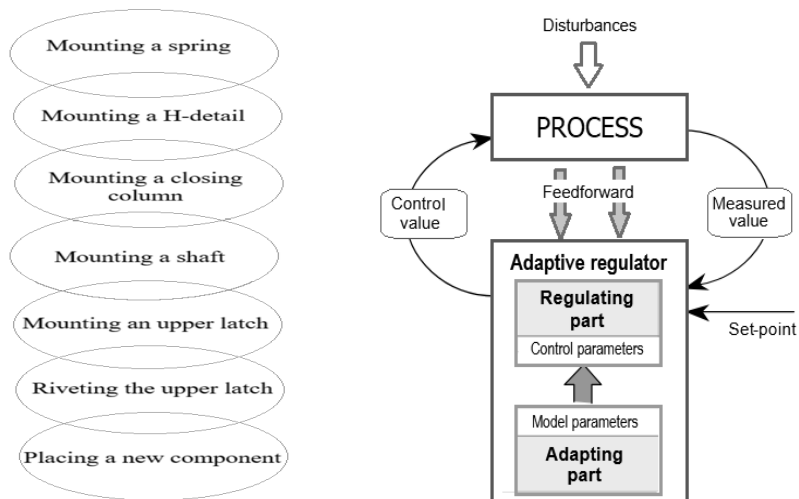


Figure 1. Flow chart of adaptive control implementation in a door-lock production process

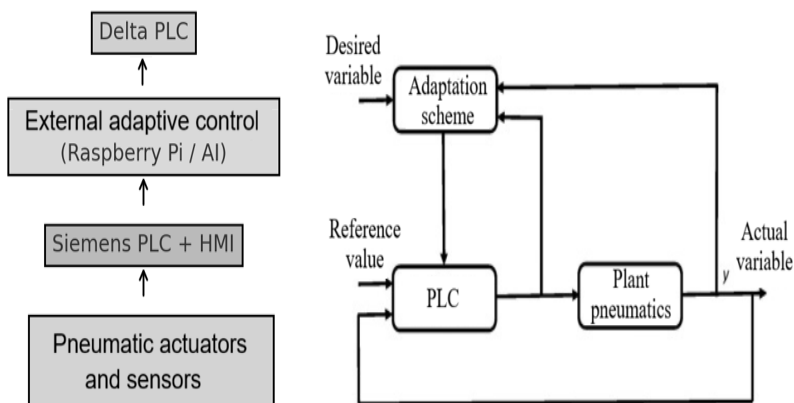


Figure 2. Schematic of the control architecture of the assembly machine

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

A production cycle with adaptive control relies on real-time sensor data (position estimate sensors such as potentiometric, encoders, inductive or optical) to dynamically adjust assembly parameters. The use of Raspberry Pi controller as a primary sensor interface is provisioned to extend data communication possibilities of the industrial PLC. The integration of expansion modules for PLCs empowers system adjustment in accordance with specific requirements without the need for full replacement of components. As major software means the Delta WPLSoft environment and Siemens TIA Portal may be used to experiment with different programming strategies.

References

1. Dilip, R., Ramesh, K. B., Kumar, K. K., Chandrashekhar, L. (2019). Design and development of programmable-pi controller for automation. *JETIR*, Vol. 6, Issue 6 (2019): 799-802. ISSN-2349-5162
2. Säfssten, K., Winroth, M., Stahre, J. (2007). The content and process of automation strategies. *International Journal of Production Economics*, 110, 1-2 (2007):25-3.
3. Jordan, J., Michel, F. J. (2000). *Next generation Manufacturing: Methods and Techniques*. John Wiley & Sons.
4. Krajcovic, M., Dulina, L., Binasova, V., Zuzik, J. (2023). The design of elements of an adaptive assembly system. *MM Science Journal*, Dec (2023): 7035-7041.

УДК 004.8:620.9

INTELLIGENT ANALYSIS OF HETEROGENEOUS DATA IN PROACTIVE ENERGY MANAGEMENT SYSTEMS OF SMART OBJECTS

Dr.Sci., O. Arsirii^{1[0000-0001-8130-9613]}, **Dr.Sci., V. Arsirii**^{2[0000-0003-3617-8487]},
A. Zasidko^{3[0000-0001-5197-0435]}, **I. Krantovskyi**^{4[0009-0008-4801-2453]}

^{1,3,4}*Odesa Polytechnic National University, Ukraine,*

²*Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Ukraine*

EMAIL: ¹*e.arsirii@gmail.com*, ²*vasyly.arsirii@gmail.com*,

³*andzasidko@gmail.com*, ⁴*illya20020814@gmail.com*

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ГЕТЕРОГЕННИХ ДАНИХ У
СИСТЕМАХ ПРОАКТИВНОГО УПРАВЛІННЯ
ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯМ СМАРТ-ОБ'ЄКТІВ**

**Dr.Sci., O. Arcipii¹, Dr.Sci., B. Arcipii²,
A. Zasičko¹, I. Krantovskiy¹**

¹Національний університет «Одеська політехніка», Україна,

²Одеська державна академія будівництва та архітектури, Україна

Анотація. Дослідження розглядає класифікацію енергетичних станів смарт об'єктів як інтелектуальну складову проактивного управління енергоспоживанням. В якості аналізованого датасету використано BDG2, який складається із 60 000 добових записів що містять покази лічильників та характеристики будівель, а також погодні та календарні дані. За результатами кластеризації за K-Means сформовано три відносні стани споживання. Досліджено можливості трьох базових класифікаторів та їх ансамблювання на основі Stacking щодо ідентифікації станів смарт об'єктів. Найкращим результатом є значення Accurasy 64,58 %, F1-міра 66,21 %, AUC 83,43 %. Отримані результати свідчать про помірну придатність підходу для ідентифікації станів смарт об'єктів.

Ключові слова: інтелектуальний аналіз даних, гетерогенні дані, проактивне управління енергоспоживанням, смарт-об'єкт, класифікація, ансамблеві моделі.

Abstract. The study examines the classification of smart-object energy states as an intelligent component of proactive energy consumption management. The BDG2 dataset comprised 60,000 daily records combining meter readings, building characteristics, weather, and calendar data. K-Means produced three relative consumption states. Three baseline classifiers and a Stacking ensemble were evaluated. Stacking performed best, with 64.58% accuracy, a 66.21% F1-score, and 83.43% AUC, indicating moderate suitability for state identification.

Keywords: data mining, heterogeneous data, proactive energy consumption management, smart object, classification, ensemble models.

Класичні системи керування попитом реагують на тарифний сигнал або команду оператора [1]. Проактивна схема потребує оцінити стан будівлі до вибору дії. Для цього данні показів лічильників аналізують разом із погодою, календарем і характеристиками об'єкта, що відповідає практиці моделювання енергоспоживання за даними [2].

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
 co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
 CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Мета дослідження полягає у розробці підходу до ідентифікації енергетичних станів смарт-об'єкта, що є основою для подальшого проактивного управління енергоспоживанням. Експеримент оцінює класифікаційний компонент, але не зниження витрат, комфорт чи дотримання обмежень потужності мережі.

Building Data Genome 2 містить погодинні дані за 2016 та 2017 роки для приблизно 1600 будівель і восьми типів лічильників [3]. Показання агреговано до добових сум, поєднано з погодою та метаданими будівель і відібрано 60 000 записів. Пропуски замінено медіанами, числові ознаки масштабовано, номінальні змінні закодовано методом one-hot encoding.

У добовому вікні обчислено середнє значення, стандартне відхилення, коефіцієнт варіації, тренд, мінімум і максимум. Через відсутність підтверджених міток K-Means [4] окремо для кожного типу лічильника сформував класи Low, Medium і High. Ці псевдомітки описують положення запису в розподілі енергоносія, а не керувальну дію. Поточне показання лічильника вилучено з ознак, щоб зменшити прямий витік цільової інформації.

Порівняно логістичну регресію, лінійну SVM, Gaussian Naive Bayes, Soft Voting та Stacking. У Stacking логістична регресія зважувала прогнози базових моделей [5]. Дисбаланс коригувався методом SMOTE, а якість оцінено зваженими Accuracy, F1-мірою та AUC.

Таблиця 1. Результати класифікації сформованих енергетичних станів

Модель	Accuracy, %	F1-mіра, %	AUC, %
Логістична регресія	63,57	65,03	82,42
SVM	63,43	64,82	81,94
Naive Bayes	53,08	49,98	71,12
Soft Voting	59,37	58,37	80,23
Stacking	64,58	66,21	83,43

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

Найкращі показники отримано для Stacking, але перевага над лінійними моделями невелика. Найбільше помилок припадає на Medium, межі якого перекриваються з Low і High. Отже, моделі демонструють помірну, а не високу здатність відтворювати псевдомітки K-Means.

Підхід описує енергетичний стан за історією споживання, погодою та властивостями будівлі. Він придатний для дослідження класифікаційної складової проактивного енергоменеджменту, але ефективність керування слід перевіряти окремо для заданого прогнозного горизонту, тарифів, дій та обмежень.

Література

1. Palensky, P., & Dietrich, D. (2011). Demand side management: Demand response, intelligent energy systems, and smart loads. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 7(3), 381-388. <https://doi.org/10.1109/TII.2011.2158841>
2. Wei, Y., Zhang, X., Shi, Y., Xia, L., Pan, S., Wu, J., Han, M., & Zhao, X. (2018). A review of data-driven approaches for prediction and classification of building energy consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 1027-1047. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.108>
3. Buds-lab. (2020). *Building Data Genome Project 2* [Data set]. GitHub. <https://github.com/buds-lab/building-data-genome-project-2>
4. Arthur, D., & Vassilvitskii, S. (2007). K-means++: The advantages of careful seeding. In *Proceedings of the Eighteenth Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms* (pp. 1027-1035). Society for Industrial and Applied Mathematics. <https://theory.stanford.edu/~sergei/papers/kMeansPP-soda.pdf>
5. Divina, F., Gilson, A., Gomez-Vela, F., Garcia Torres, M., & Torres, J. F. (2018). Stacking ensemble learning for short-term electricity consumption forecasting. *Energies*, 11(4), 949. <https://doi.org/10.3390/en11040949>

УДК 519.85:004.94:61

INFORMATION SYSTEM FOR OPTIMIZATION-BASED DESIGN AND EVALUATION OF MULTIDIMENSIONAL SIGNAL CONSTELLATIONS

**Dr.Sci., A. Chuhai^{1,2}[0000-0002-4079-5632], Dr.Sci., G. Yaskov^{1,3}[0000-0002-1476-1818], K.
Veretelnnyk²[0009-0006-1114-8846], M. Shcherbyna¹[0009-0003-1873-6358]**

¹Anatolii Pidhorniy Institute of Power Machines and Systems NASU, Ukraine,

²Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Ukraine,

³Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine

EMAIL: chugay.andrey80@gmail.com

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЙНОГО ПРОЄКТУВАННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ БАГАТОВИМІРНИХ СИГНАЛЬНИХ СУЗІР'ІВ

Dr.Sci., А. Чугай^{1,2}, Dr.Sci., Г. Яськов^{1,3}, К. Веретельник²,

М. Щербина¹

¹Інститут енергетичних машин і систем ім. А. Підгорного НАНУ, Україна,

²Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Україна,

³Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна

Анотація. Сучасні системи зв'язку потребують завадостійких сигнальних сузір'їв та ефективного використання багатовимірного простору. У роботі представлено інформаційну систему для оптимізаційного проєктування та оцінювання багатовимірних сигнальних сузір'їв. Система забезпечує їх генерацію, геометричний аналіз, моделювання AWGN-каналу, декодування та оцінювання SER. Експерименти для чотиривимірних і шестивимірних сузір'їв підтвердили її практичну придатність.

Ключові слова: багатовимірне сигнальне сузір'я, інформаційна система, геометричне формування, пакування гіперсфер, синтез сигнального сузір'я

Abstract. Modern communication systems require noise-resistant signal constellations and efficient use of multidimensional signal spaces. This paper presents an information system for optimization-based design and evaluation of multidimensional signal constellations. The system supports constellation generation, geometric analysis, AWGN channel simulation, decoding, and SER evaluation. Experiments with four- and six-dimensional constellations confirm its practical applicability.

Keywords: multidimensional signal constellation, information system, geometric shaping, hypersphere packing, signal constellation synthesis

Сучасні системи зв'язку характеризуються постійним підвищенням вимог до надійності передавання інформації, спектральної та енергетичної ефективності. Розвиток багатоканальних і багатонесучих систем, а також технологій 5G/6G стимулює використання

багатовимірних сигнальних просторів [1-2]. Геометрична структура сигнального сузір'я безпосередньо впливає на ймовірність помилки, ефективність використання доступного простору та характеристики передавання інформації. Традиційні методи модуляції, зокрема QAM і PSK, використовують наперед визначені структури сигнальних сузір'їв, які не завжди є оптимальними для багатовимірних просторів і каналів із додатковими амплітудними та енергетичними обмеженнями. Одним із перспективних напрямів є геометричне формування сигнальних сузір'їв, за якого координати сигнальних точок визначаються шляхом оптимізації. У цьому випадку підвищення мінімальної евклідової відстані між точками дає змогу збільшити геометричний запас до помилки декодування. Геометрична інтерпретація задачі дозволяє встановити безпосередній зв'язок між синтезом сигнальних сузір'їв і задачею пакування гіперсфер. Сигнальні точки розглядаються як центри однакових неперетинних гіперсфер у заданій багатовимірній області. Радіус таких гіперсфер визначається мінімальною допустимою відстанню між сигнальними точками. Таким чином, оптимізаційний синтез сузір'я може бути сформульований як задача розміщення неперетинних гіперсфер із максимізацією їхнього радіуса за заданих обмежень на розмір сигнального простору, енергію та амплітуду.

Для реалізації такого підходу розроблено інформаційну систему ConsteOpt, яка об'єднує в одному програмному середовищі основні етапи дослідження багатовимірних сигнальних сузір'їв. Архітектура системи має модульну структуру та включає підсистеми синтезу сузір'їв, геометричного аналізу, моделювання каналу, декодування, оцінювання характеристик передавання, візуалізації та збереження результатів. Така організація забезпечує послідовний перехід від задання параметрів задачі до отримання оптимізованої конфігурації та експериментальної перевірки її характеристик.

Основним обчислювальним компонентом є модуль синтезу сигнальних сузір'їв. Користувач задає розмірність сигнального простору, кількість символів, амплітудні та енергетичні обмеження, стратегію оптимізації та критерії збіжності. Експериментальне дослідження проведено для чотири- та шестивимірних

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

сигнальних сузір'їв, сформованих за допомогою жадібного та інкрементального алгоритмів пакування гіперсфер. Для кожної конфігурації автоматично обчислювалися мінімальна евклідова відстань, радіальний розподіл, спектр попарних відстаней, структура контактів та енергетичні характеристики. Передавання моделювалося в AWGN-каналі з використанням методу найближчого сусіда та Monte Carlo-моделювання за різних значень SNR. Розроблена інформаційна система ConsteOpt забезпечує повний цикл дослідження багатовимірних сигнальних сузір'їв - від їх оптимізаційного синтезу та геометричного аналізу до моделювання передавання, декодування та оцінювання SER. Модульна структура системи дозволяє розширювати її новими алгоритмами оптимізації, моделями каналів та інформаційно-теоретичними критеріями. Отримані результати підтверджують доцільність використання запропонованого програмного середовища для дослідження та проектування багатовимірних сигнальних конфігурацій у сучасних системах зв'язку.

Література

1. Böcherer, G. (2023). Probabilistic amplitude shaping. *Foundations and Trends in Communications and Information Theory*, 20(4), 390–511. <https://doi.org/10.1561/01000000111>
2. Jovanovic, O., Da Ros, F., Zibar, D., & Yankov, M. (2023). Geometric constellation shaping for fiber-optic channels via end-to-end learning. *Journal of Lightwave Technology*, 41(12), 3726–3736. <https://doi.org/10.1109/JLT.2023.3276300>

International Scientific and Practical Workshop
"Advanced Digital Technologies: Intelligent Systems, Modeling, and
Data-Driven Control" (ADT-ISMDDC-2026)
co-located with ICST-2026 XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE
"Information Control Systems and Technologies - ICST-ODESA-2026"

ДЛЯ ПОДАТОК

Наукове видання

**ПЕРЕДОВІ ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ: ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ
СИСТЕМИ, МОДЕЛЮВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ НА
ОСНОВІ ДАНИХ (ADT-ISMDDC-2026)**

Матеріали

XIV Міжнародної науково-практичної конференції

22–24 вересня 2026 р. Одеса

Відповідальний редактор

В. В. Вичужанін

Підписано до друку 25.09.2026

Формат 60х84/16. Папір офсетний. Ум. друк. арк. 17,43

Тираж 100 пр. Замовлення № 0926-82.

Віддруковано з готового оригінал-макета.

Українсько-польське наукове видавництво «Liha-Pres»

79000, м. Львів, вул. Технічна, 1

87-100, м. Торунь, вул. Лубіцка, 44

Телефон: +38 (050) 658 08 23

Е-mail: editor@liha-pres.eu

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 6423 від 04.10.2018 р..