

## ABSTRACT AND REFERENCES

## INFORMATION TECHNOLOGY. INDUSTRY CONTROL SYSTEMS

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.351605

**DEVISING A NEURAL-NETWORK METHOD FOR ASSESSING THE CONDITION OF DESTROYED BUILDINGS USING IMAGES FROM UNMANNED AERIAL VEHICLES (p. 6–16)**

**Oleksandr Mazurets**Khmelnitskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8900-0650>**Maryna Molchanova**Khmelnitskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9810-936X>**Maksim Shurypa**Khmelnitskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7025-4647>**Olena Sobko**Khmelnitskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5371-5788>

The process of assessing the condition of destroyed buildings using aero photographs acquired from unmanned aerial vehicles (UAVs) has been investigated in this study. The task addressed relates to the fact that post-war monitoring of territories is complicated by the volume of satellite and UAV images, which exceeds the capabilities of expert inspection while the lack of uniform interpretation tools and domain shift reduce the reproducibility of assessment.

The proposed two-stage neural-network method combines segmentation of buildings and determining the level of building destruction on a four-level damage scale: “absent”, “minor”, “significant”, “destroyed”. The “xView2” corpus was used as the source material, supplemented with authentic marked UAV images.

The “You Only Look Once” (YOLO) segmentation models, versions v8s and v11n, were used to extract building contours, and the Vision Transformer (ViT) was used to categorize damage. Experiments were performed in Google Colab (USA) applying PyTorch (USA) and Ultralytics (UK). The Mean Average Precision (mAP) was calculated for segmentation models. The mAP indicators remain acceptable even in complex urban settings.

For the ViT classification model, the Precision, Recall, and F1 values above 0.9 were obtained. The values achieved are attributed to the combination of a two-stage architecture and sample balancing.

The devised method is applicable to satellite and UAV images; unlike existing solutions, it retains stability under domain shift. The resulting models could be implemented as a basic module in geographic information systems and decision support systems, enabling practical use of this study’s results. For correct operation, sufficient resolution and representativeness of the training sample are required.

**Keywords:** UAVs, aerial photography, YOLO, ViT, neural-network classification of damage, assessment of damage to buildings.

**References**

- Mazurets, O., Sobko, O., Dydo, R., Zalutska, O., Molchanova, M. (2025). Augmented reality audiostream creation using CNN: boosting inclusion and safety for visually impaired people. CEUR Workshop Proceedings, 4004, 347–361. Available at: <https://ceur-ws.org/Vol-4004/paper26.pdf>
- Krak, I., Sobko, O., Molchanova, M., Tymofiiiev, I., Mazurets, O., Barmak, O. (2025). Method for neural network cyberbullying detection in text content with visual analytic. CEUR Workshop Proceedings, 3917, 298–309. Available at: <https://ceur-ws.org/Vol-3917/paper57.pdf>
- Gu, J., Xie, Z., Zhang, J., He, X. (2024). Advances in Rapid Damage Identification Methods for Post-Disaster Regional Buildings Based on Remote Sensing Images: A Survey. Buildings, 14 (4), 898. <https://doi.org/10.3390/buildings14040898>
- Xia, H., Wu, J., Yao, J., Zhu, H., Gong, A., Yang, J. et al. (2023). A Deep Learning Application for Building Damage Assessment Using Ultra-High-Resolution Remote Sensing Imagery in Turkey Earthquake. International Journal of Disaster Risk Science, 14 (6), 947–962. <https://doi.org/10.1007/s13753-023-00526-6>
- Singh, D. K., Hoskere, V. (2023). Post Disaster Damage Assessment Using Ultra-High-Resolution Aerial Imagery with Semi-Supervised Transformers. Sensors, 23 (19), 8235. <https://doi.org/10.3390/s23198235>
- Tennant, E., Jenkins, S. F., Miller, V., Robertson, R., Wen, B., Yun, S. H., Taisne, B. (2024). Automating tephra fall building damage assessment using deep learning. Natural Hazards and Earth System Sciences, 24 (12), 4585–4608. <https://doi.org/10.5194/nhess-24-4585-2024>
- Alsaaran, N., Soudani, A. (2025). Deep Learning Image-Based Classification for Post-Earthquake Damage Level Prediction Using UAVs. Sensors, 25 (17), 5406. <https://doi.org/10.3390/s25175406>
- Zhuang, X., Tran, T. V., Nguyen-Xuan, H., Rabczuk, T. (2025). Deep learning-based post-earthquake structural damage level recognition. Computers & Structures, 315, 107761 <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2025.107761>
- Lyu, C., Lin, S., Lynch, A., Zou, Y., Liarokapis, M. (2025). UAV-based deep learning applications for automated inspection of civil infrastructure. Automation in Construction, 177, 106285. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2025.106285>
- Zha, Q., Yao, Y., Zheng, Y., Ma, W., Zhang, W. (2025). A dataset of building surface defects collected by UAVs for machine learning-based detection. Scientific Data, 12 (1). <https://doi.org/10.1038/s41597-025-06318-5>
- Molchanova, M., Didur, V., Mazurets, O., Sobko, O., Zakharchevich, O. (2025). Method for construction and demolition waste classification using two-factor neural network image analysis. CEUR Workshop Proceedings, 3970, 168–182. Available at: <https://ceur-ws.org/Vol-3970/PAPER14.pdf>
- xView2 Challenge Dataset - train and test. Available at: <https://www.kaggle.com/datasets/tunguz/xview2-challenge-dataset-train-and-test/data>
- Sobko, O., Mazurets, O., Molchanova, M., Krak, I., Barmak, O. (2025). Method for analysis and formation of representative text datasets. CEUR Workshop Proceedings, 3899, 84–98. Available at: <https://ceur-ws.org/Vol-3899/paper9.pdf>
- Asif, A., Rafique, H., Jadoon, K., Zakwan, M., Mahmood, M. H. (2024). Change-centric building damage assessment across multiple disasters using deep learning. International Journal of Data Science and Analytics, 20 (3), 1915–1931. <https://doi.org/10.1007/s41060-024-00577-y>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.352589

**DEVISING OF A SYSTEM FOR ANALYSING THE DISPERSED COMPOSITION OF EMULSIONS USING COMPUTER VISION METHODS (p. 17–24)****Volodymyr Kosenko**

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1699-5919>**Anton Korotynskyi**

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6309-5970>**Oleksandr Seminskyi**

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7081-0899>

The feasibility of applying computer vision sequences to automatically determine the composition of heterogeneous disperse systems, using emulsions as a case study, has been considered. This expands the analytical framework, reduces human factor impact on analysis accuracy and reliability, as well as improves processing speed.

During the study, zero-shot segmentation was performed on microscopy images using four different segmenters. The resulting segments were then fitted to circles using a bounding volume (BV) approach. Segmentation effectiveness was evaluated with the Intersection over Union (IoU) metric by comparing results to manually annotated masks provided by an operator.

The average IoU values for the applied segmentation models range from 0.64 to 0.68. Applying the BV technique improves agreement with reference masks; specifically, the average IoU fitted to circles reaches approximately 0.75.

The overall effectiveness of applying the proposed automatic system in the form of a segmentation and bounding volume sequence was determined by analyzing the emulsion droplet diameter distributions. Comparison of the distributions showed that the data obtained using the automatic system are consistent with the operator’s data for fractions larger than 15 px. However, the automatic system underestimates the share of fine fractions, which leads to a systematic shift in the integral assessment.

Importantly, it was established that applying the BV method to each individual mask obtained from segmentation is approximately 40–60% faster than analyzing a single combined mask. This analysis of individual masks is also practically more useful in cases involving touching droplets.

**Keywords:** image segmentation, emulsion analysis, computer vision, droplet distribution, droplet diameter.

**References**

- Kirillov, A., Mintun, E., Ravi, N., Mao, H., Rolland, C., Gustafson, L. et al. (2023). Segment Anything. 2023 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV), 3992–4003. <https://doi.org/10.1109/iccv51070.2023.00371>
- Ma, J., He, Y., Li, F., Han, L., You, C., Wang, B. (2024). Segment anything in medical images. *Nature Communications*, 15 (1). <https://doi.org/10.1038/s41467-024-44824-z>
- Zhang, Y., Jiang, H., Ye, T., Juhas, M. (2021). Deep Learning for Imaging and Detection of Microorganisms. *Trends in Microbiology*, 29 (7), 569–572. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2021.01.006>

- Nartova, A. V., Mashukov, M. Yu., Astakhov, R. R., Kudinov, V. Yu., Matveev, A. V., Okunev, A. G. (2022). Particle Recognition on Transmission Electron Microscopy Images Using Computer Vision and Deep Learning for Catalytic Applications. *Catalysts*, 12 (2), 135. <https://doi.org/10.3390/catal12020135>
- Salum, P., Güven, O., Aydemir, L. Y., Erbay, Z. (2022). Microscopy-Assisted Digital Image Analysis with Trainable Weka Segmentation (TWS) for Emulsion Droplet Size Determination. *Coatings*, 12 (3), 364. <https://doi.org/10.3390/coatings12030364>
- Richards, K. D., Comish, E., Evans, R. C. (2025). Computer vision for high-throughput analysis of pickering emulsions. *Soft Matter*, 21 (12), 2339–2348. <https://doi.org/10.1039/d4sm01252f>
- Saalbrink, J., Loo, T. Y. J., Mertesdorf, J., Xu, P., Pedersen, M. T., Clausen, M. P., Bonilla, J. C. (2025). Quantifying microscopic droplets in colloidal systems through machine learning-based image analysis. *Food Hydrocolloids*, 166, 111301. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2025.111301>
- Hu, Y.-T., Ting, Y., Hu, J.-Y., Hsieh, S.-C. (2017). Techniques and methods to study functional characteristics of emulsion systems. *Journal of Food and Drug Analysis*, 25 (1), 16–26. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.10.021>
- Tripathi, S., Bhattacharya, A., Singh, R., Tabor, R. F. (2017). Rheological behavior of high internal phase water-in-oil emulsions: Effects of droplet size, phase mass fractions, salt concentration and aging. *Chemical Engineering Science*, 174, 290–301. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2017.09.016>
- Marín Castaño, E. P., Leite, R. H. T., de Souza Mendes, P. R. (2021). Microscopic phenomena inferred from the rheological analysis of an emulsion. *Physics of Fluids*, 33 (7). <https://doi.org/10.1063/5.0053408>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.352117

**DEVELOPMENT OF CLASSIFICATION ALGORITHM AND BOOSTING METHOD FOR FAKE NEWS DETECTION: FILTRATION AND ORIENTATION (p. 25–35)****Zhanna Suimenbayeva**

ALT University, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2347-356X>**Pramod Kumar Aylapogu**

B.V. Raju Institute of Technology, Telangana, India

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2810-2765>**Ruslan Kassym**

ALT University, Almaty, Republic of Kazakhstan

University of Jaén, Jaén, Spain

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8024-5224>**Arai Tolegenova**

S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana,

Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6318-8328>**Begaidar Sarsekulov**

S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana,

Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8366-5335>**Nurlan Suimenbayev**

“INSAT Alatau” LLP, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1634-6738>**Yerdaulet Beibit**

ALT University, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3360-0419>

**Akmaral Tlenshiyeva**

ALT University, Almaty, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8105-1632>

**Ayaulym Kassym**

Nazarbayev University, Astana, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0009-0158-7038>

**Mussapirova Gulzada**

ALT University, Almaty, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0008-6569-8557>

The object of this study is text-based news content distributed through online media and social media platforms, presented as vector objects formed on the basis of unstructured text data and used for subsequent automated analysis. The problem solved in this study is the limited effectiveness, stability, and generalizing ability of traditional machine learning methods in detecting fake news, especially in conditions of heterogeneous datasets, noisy textual characteristics, and dynamically changing linguistic patterns, which negatively affects the quality of classification.

The article proposes a method for improving the efficiency of machine learning based on the combined use of SVM and the AdaBoost algorithm. To form an informative representation of text data, complex preprocessing and feature extraction using the TF-IDF model are used. The experimental verification of the method was performed on four open datasets: ISOT, Kaggle, News Trends and Reuters.

The results show that the proposed SVM ensemble model with AdaBoost is superior to the basic SVM classifier and a number of traditional algorithms. Accuracy increased from 0.8175 for the base model to 0.83 for SVM+AdaBoost, while memorization increased by 4.02%, average memorization accuracy increased by 2.22%, and the F1 index increased by 1.84%, while the stability of the test accuracy decreased only slightly by 0.19%. The improvement is explained by AdaBoost's adaptive enhancement of the contribution of hard-to-classify objects and a reduction in the number of errors with moderate computational complexity.

The developed approach can be effectively applied in automated systems for monitoring news content and social networks in the presence of marked-up text data and limited computing resources.

**Keywords:** fake news, social media, infodemy, machine learning, automatic detection of misinformation.

**References**

- Zhou, X., Zafarani, R. (2020). A Survey of Fake News. *ACM Computing Surveys*, 53 (5), 1–40. <https://doi.org/10.1145/3395046>
- Yang, K.-C., Torres-Lugo, C., Menczer, F. (2020). Prevalence of low-credibility information on twitter during the covid-19 outbreak. *Workshop: Workshop on Cyber Social Threats (CySoc 2020)*. <https://doi.org/10.36190/2020.16>
- Jamieson, K. H., Cappella, J. N. (2008). *Echo chamber: Rush Limbaugh and the conservative media establishment*. Oxford University Press.
- Holan, A. D. (2016). 2016 Lie of the Year: Fake news. Available at: <https://www.politifact.com/article/2016/dec/13/2016-lie-year-fake-news/>
- Vosoughi, S., Roy, D., Aral, S. (2018). The spread of true and false news online. *Science*, 359 (6380), 1146–1151. <https://doi.org/10.1126/science.aap9559>
- Allcott, H., Gentzkow, M. (2017). Social Media and Fake News in the 2016 Election. *Journal of Economic Perspectives*, 31 (2), 211–236. <https://doi.org/10.1257/jep.31.2.211>
- Gundapu, S., Mamidi, R. (2021). Transformer based Automatic COVID-19 Fake News Detection System. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2101.00180>
- Koggalahewa, D., Xu, Y., Foo, E. (2022). An unsupervised method for social network spammer detection based on user information interests. *Journal of Big Data*, 9 (1). <https://doi.org/10.1186/s40537-021-00552-5>
- Kesarwani, A., Chauhan, S. S., Nair, A. R., Verma, G. (2020). Supervised Machine Learning Algorithms for Fake News Detection. *Advances in Communication and Computational Technology*, 767–778. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-5341-7\\_58](https://doi.org/10.1007/978-981-15-5341-7_58)
- Thakar, H., Bhatt, B. (2024). Fake news detection: recent trends and challenges. *Social Network Analysis and Mining*, 14(1). <https://doi.org/10.1007/s13278-024-01344-4>
- Ahmad, I., Yousaf, M., Yousaf, S., Ahmad, M. O. (2020). Fake News Detection Using Machine Learning Ensemble Methods. *Complexity*, 2020, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2020/8885861>
- Gao, Q., Lantz, N. (2022). Using Machine Learning Algorithms to Detect Fake News. *Journal of Student Research*, 11 (4). <https://doi.org/10.47611/jsrhs.v11i4.3446>
- Vijjali, R, Potluri, P., Kumar, S., Teki, S (2020). Two Stage Transformer Model for COVID-19 Fake News Detection and Fact Checking. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2011.13253>
- Kaur, S., Kumar, P., Kumaraguru, P. (2019). Automating fake news detection system using multi-level voting model. *Soft Computing*, 24 (12), 9049–9069. <https://doi.org/10.1007/s00500-019-04436-y>
- Mahabub, A. (2020). A robust technique of fake news detection using Ensemble Voting Classifier and comparison with other classifiers. *SN Applied Sciences*, 2 (4). <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2326-y>
- Umer, M., Imtiaz, Z., Ullah, S., Mehmood, A., Choi, G. S., On, B.-W. (2020). Fake News Stance Detection Using Deep Learning Architecture (CNN-LSTM). *IEEE Access*, 8, 156695–156706. <https://doi.org/10.1109/access.2020.3019735>
- Kaliyar, R. K., Goswami, A., Narang, P., Sinha, S. (2020). FNDNet – A deep convolutional neural network for fake news detection. *Cognitive Systems Research*, 61, 32–44. <https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2019.12.005>
- FakeNews.University of Victoria. Available at: <https://libguides.uvic.ca/fakenews>
- Ozbay, F. A., Alatas, B. (2020). Fake news detection within online social media using supervised artificial intelligence algorithms. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 540, 123174. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.123174>
- Sultan, A., Yermoldina, G., Kassym, R., Serikov, T., Bekbosynov, S., Yernazarov, N. et al. (2024). Research and construction of an adaptive drive with increased efficiency based on a balancing friction clutch. *Vibroengineering Procedia*, 54, 334–340. <https://doi.org/10.21595/vp.2024.23971>
- Nagima, B., Kumar, P., Suman, N., Serikov, T., Temirbekova, M., Sergazin, G. et al. (2024). Development of an innovative patch antenna design and implementation using ENG materials for health care systems and 5G networks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(5(130)), 26–33. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.309080>
- Yelikbai, K., Kumar, P., Serikov, T., Temirbekova, M., Mussapirova, G., Arai, T. et al. (2025). Improving intelligent reflective surface efficiency using ENG-metamaterials and L-shaped patch antennas in a dynamic radio environment. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 99–109. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2025.003914>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.352029

**DETECTION OF VULNERABILITIES IN SOFTWARE FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES BY USING LARGE LANGUAGE MODELS (p. 36–47)****Andrii Voiteskhovskiy**

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6009-9492>**Iryna Stopochkina**

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0346-0390>**Pu Sun**

San Diego State University, 5500 (E-403B), San Diego, USA

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8105-3804>**Junfei Xie**

San Diego State University, 5500 (E-403B), San Diego, USA

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7406-3221>**Mykola Ilin**

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1065-6500>**Oleksii Novikov**

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5988-3352>

This study considers binary software samples that operate and control unmanned aerial vehicles (UAVs). The task addressed is to detect vulnerabilities in UAV software given the absence of application source code.

An improved method for automated vulnerability detection has been proposed, as well as a corresponding algorithm, a universal instruction template, and an architectural model for automated vulnerability search involving the capabilities of large language models (LLMs). Compared to the fuzzing method, the proposed method provides an average increase in accuracy to 94.7% while reducing the analysis time by 4 times.

The method proposed for detecting UAV software vulnerabilities integrates binary analysis tools with the capabilities of logical inference and LLM pattern recognition. The corresponding algorithm for detecting UAV software vulnerabilities consists of processing stages, static analysis, logical inference using LLM, verification, correlation with known vulnerabilities, and reporting. The instruction template is independent of the features of the sample and tools and provides accurate logical conclusions. A new architectural communication model based on the Model-Context Protocol (MCP) provides universal interaction between LLM and decompilation tools.

A comparative analysis of the method's applications for different implementations of cloud LLMs was carried out. Key advantages include the generation of detailed vulnerability reports, decreasing analysis time from hours to minutes through automation, as well as reducing the qualification requirements for reverse engineers who perform the analysis. The proposed solutions enable proactive security assessment of UAV software, as well as automated vulnerability detection.

**Keywords:** UAV firmware analysis, LLM-driven binary vulnerability analysis, MCP protocol, binary analysis context extension.

**References**

- Sivakumar, M., Tyj, N. M. (2021). A Literature Survey of Unmanned Aerial Vehicle Usage for Civil Applications. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 13. <https://doi.org/10.1590/jatm.v13.1233>
- Stopochkina, I., Novikov, O., Voiteskhovskiy, A., Ilin, M., Ovcharuk, M. (2025). Simulation of UAV networks on the battlefield, taking into account cyber-physical influences that affect availability. *Theoretical and Applied Cybersecurity*, 6 (2). <https://doi.org/10.20535/tacs.2664-29132024.2.318182>
- PX4. Available at: <https://px4.io/>
- What is ArduPilot? Available at: <https://ardupilot.org/>
- CVE-2023-47625 Detail. National Vulnerability Database. Available at: <https://nvd.nist.gov/vuln/detail/CVE-2023-47625/>
- Tyshchenko, A., Stopochkina, I. (2025). Design of a simulation tool for planning UAV mission success under combat constraints. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (137)), 14–26. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.340918>
- Vulnerabilities (Dronecode). Dronecode CVEs and Security Vulnerabilities – OpenCVE. Available at: <https://app.openCVE.io/cve/?vendor=dronecode>
- Siala, H. A., Lano, K. (2025). Towards Using LLMs in the Reverse Engineering of Software Systems to Object Constraint Language. 2025 IEEE International Conference on Software Analysis, Evolution and Reengineering (SANER), 1–6. <https://doi.org/10.1109/saner64311.2025.00096>
- Williamson, A. Q., Beuparlant, M. (2024). Malware Reverse Engineering with Large Language Model for Superior Code Comprehensibility and IoC Recommendations. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4471373/v1>
- Contributing to MCP. Model Context Protocol a Series. Available at: <https://modelcontextprotocol.io/community/contributing>
- Silva, C. E., Campos, J. C. (2013). Combining static and dynamic analysis for the reverse engineering of web applications. *Proceedings of the 5th ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems*, 107–112. <https://doi.org/10.1145/2494603.2480324>
- IDA Pro. hex-rays. Available at: <https://hex-rays.com/ida-pro>
- Valgrind. Available at: <https://valgrind.org/>
- Chen, C., Cui, B., Ma, J., Wu, R., Guo, J., Liu, W. (2018). A systematic review of fuzzing techniques. *Computers & Security*, 75, 118–137. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2018.02.002>
- Kim, Y., Cho, K., Kim, S. (2024). Challenges in Drone Firmware Analyses of Drone Firmware and Its Solutions. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2312.16818>
- Zhang, B. (2021). Research Summary of Anti-debugging Technology. *Journal of Physics: Conference Series*, 1744 (4), 042186. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1744/4/042186>
- Zhou, X., Zhang, T., Lo, D. (2024). Large Language Model for Vulnerability Detection: Emerging Results and Future Directions. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2401.15468>
- Li, H., Hao, Y., Zhai, Y., Qian, Z. (2024). Enhancing Static Analysis for Practical Bug Detection: An LLM-Integrated Approach. *Proceedings of the ACM on Programming Languages*, 8 (OOPSLA1), 474–499. <https://doi.org/10.1145/3649828>
- Liu, P., Sun, C., Zheng, Y., Feng, X., Qin, C., Wang, Y. et al. (2023). Harnessing the Power of LLM to Support Binary Taint Analysis. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2310.08275>
- Li, Y., Li, X., Wu, H., Xu, M., Zhang, Y., Cheng, X. et al. (2025). Everything You Wanted to Know About LLM-based Vulnerability

Detection But Were Afraid to Ask. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2504.13474>

21. Qin, W., Suo, L., Li, L., Yang, F. (2025). Advancing Software Vulnerability Detection with Reasoning LLMs: DeepSeek-R1's Performance and Insights. *Applied Sciences*, 15 (12), 6651. <https://doi.org/10.3390/app15126651>
22. Introducing Claude 4. Anthropic. Available at: <https://www.anthropic.com/news/claude-4>
23. IDAPython API Reference. Available at: <https://python.docs.hex-rays.com/>
24. Binary Ninja. Available at: <https://binary.ninja/>
25. AFL++ Overview. Available at: <https://aflplus.plus/>
26. Claude Opus 4.1 (2025). Anthropic. Available at: <https://www.anthropic.com/news/claude-opus-4-1>
27. DeepSeek-R1 Release. DeepSeek. Available at: <https://api-docs.deepseek.com/news/news250120/>
28. Amazon Nova - generative AI foundational models. Available at: <https://aws.amazon.com/ru/nova/>
29. Grok Code Fast 1. x.ai. Available at: <https://x.ai/news/grok-code-fast-1>
30. Impress-U-IS-KPI. Available at: [https://github.com/Impress-U-IS-KPI/data\\_processing](https://github.com/Impress-U-IS-KPI/data_processing)

**DOI: 10.15587/1729-4061.2026.351604**

#### **DEVELOPMENT OF INTELLIGENT MODEL-TECHNOLOGICAL TOOLS FOR E-BANKING SYSTEMS BASED ON MICROSERVICES (p. 48–57)**

**Tymur Daas**

V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2796-8145>

**Mykola Tkachuk**

V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0852-1081>

The processes of designing and supporting e-Banking systems built using a microservice architecture are considered in this paper, taking into account the need to ensure an appropriate level of software quality attributes. The study resolves the task of integrating knowledge-oriented models and intelligent methods into model-technological tools required for developing a microservice architecture for systems of this class.

The key approaches and principles of microservice architecture design, as well as the limitations of their application in the e-Banking domain, have been investigated. The architecture has been designed; a prototype of an e-Banking system fragment was developed using the defined model-driven technological framework, followed by experimental evaluation of its quality metrics. The results demonstrate that the combination of microservice architecture, architectural patterns, and intelligent methods eliminates the shortcomings inherent to monolithic e-Banking systems and provides the required software quality levels.

The key features of the proposed approach include the integration of knowledge-oriented models and intelligent approaches into the designed architecture, as well as the adaptation of microservice architecture design patterns to the requirements and operational specificity of e-Banking systems. That made it possible to improve the performance and reliability indicators compared to monolithic architectures, which remain widely used in the development of such systems.

In practice, the proposed microservice architecture and the researched implementation tools could be applied while designing new e-Banking systems or when upgrading existing ones.

**Keywords:** internet-banking, domain modeling, microservice architecture, software, metrics, quality.

#### **References**

1. Deshpande, R. A. (2025). Application Of Spring Boot Microservice Architecture for Scaling Banking Applications. *The American Journal of Engineering and Technology*, 07 (09), 152–158. <https://doi.org/10.37547/tajet/volume07issue09-09>
2. Daas, T. I. (2025). Design principles and tools to develop of microservice architecture for e-banking systems. *Materialy XVI Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsiyi "Priorityetni shliakhy rozvytku nauky i osvity"*. Lviv, 51–55. Available at: <http://www.lviv-forum.inf.ua/save/2025/29-30.09/%D0%97%D0%B1%D1%96%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA.pdf>
3. Newman, S. (2021). *Building Microservices*. O'Reilly Media, 612. Available at: <https://www.oreilly.com/library/view/building-microservices-2nd/9781492034018/>
4. Anh, V. N. H. (2024). An Architectural View Model for Designing and Implementing Microservices-based Systems: Use Case in FinTech. *Procedia Computer Science*, 237, 667–674. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.05.152>
5. Meiappane, A., Prasanna Venkatesan, V., Jegatheeswari, V., Kalpana, B., Sarumathy, U. (2013). Pattern Based Adaptive Architecture For Internet Banking. *IJITE*, 3 (1-2), 287–293. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1312.2325>
6. Elrashidy, M. R., Mansour, H. (2025). Microservices Architecture in Fintech: A Case Study on Scalable Loan Processing with Classical Design Patterns. *2025 Intelligent Methods, Systems, and Applications (IMSA)*, 382–387. <https://doi.org/10.1109/imsa65733.2025.11167186>
7. Brosens, J., Kruger, R. M., Smuts, H. (2018). Guidelines for designing e-statements for e-banking. *Proceedings of the Second African Conference for Human Computer Interaction: Thriving Communities*, 1–6. <https://doi.org/10.1145/3283458.3283461>
8. Pai, K., Srinivas, B. J. (2024). Enhanced Visibility for Real-time Monitoring and Alerting in Kubernetes by Integrating Prometheus, Prometheus, Grafana, Loki, and Alerta. *International journal of scientific research in engineering and management*, 08 (06), 1–5. <https://doi.org/10.55041/ijsem35639>
9. Moreschini, S., Pour, S., Lanese, I., Balouek, D., Bogner, J., Li, X. et al. (2025). AI Techniques in the Microservices Life-Cycle: a Systematic Mapping Study. *Computing*, 107 (4). <https://doi.org/10.1007/s00607-025-01432-z>
10. Daas, T. I., Tkachuk, M. V. (2025). Implementation of time series analysis methods and domain modeling in developing an intelligent forecasting module in the internet banking system. *Information Processing Systems*, 3 (182), 34–43. <https://doi.org/10.30748/soi.2025.182.04>
11. Daas, T. I. (2023). Towards domain modeling approach to software development for bank information systems. *Materialy XXIII Vseukrainskoi naukovo-tekhnichnoi konferentsiyi molodykh vchenykh, aspirantiv ta studentiv «Stan, dosiahnennia ta perspektyvy informatsiynykh system i tekhnolohiy»*. Odesa, 183–185. Available at: <https://card-file.ontu.edu.ua/items/93ca1c32-c54c-46d7-9c89-a16f1cd5aab9>
12. Tomic, M., Dimitrieski, V., Vjestica, M., Župunski, R., Jeremić, A., Kaufmann, H. (2022). Towards Applying API Gateway to Support Microservice Architectures for Embedded Systems. *12th International Conference on Information Society and Technology (ICIST 2022)*. Kopaonik, 86–91. Available at: <https://www.researchgate.net/publica->

tion/361952256\_Towards\_Applying\_API\_Gateway\_to\_Support\_Microservice\_Architectures\_for\_Embedded\_Systems

13. Daraghmi, E., Zhang, C.-P., Yuan, S.-M. (2022). Enhancing Saga Pattern for Distributed Transactions within a Microservices Architecture. *Applied Sciences*, 12 (12), 6242. <https://doi.org/10.3390/app12126242>
14. Daas, T. I., Tkachuk, M. V. (2025). Intelktualni pidkhody do rozrobky ta suprovodu mikroservisnykh arkhitektur: klasyfikatsiya, osnovni vyklyky ta dosvid zastosuvannya. *Zbirnyk naukovykh prats mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsiyi «Intelktualni tehnologii u mizhdystyplinarnykh doslidzhenniakh» (ITMD-2025)*. Kharkiv, 101–104.
15. CS. Available at: <https://csld.com.ua/>
16. Čatović, A., Buzadija, N., Lemes, S. (2022). Microservice development using RabbitMQ message broker. *Science, Engineering and Technology*, 2 (1), 30–37. <https://doi.org/10.54327/set2022/v2.i1.19>
17. Yalla, P., Sharma, N. (2015). Integrating Natural Language Processing and Software Engineering. *International Journal of Software Engineering and Its Applications*, 9 (11), 127–136. <https://doi.org/10.14257/ijseia.2015.9.11.12>
18. Abdelnabi, E. A., Maatuk, A. M., Abdelaziz, T. M., Elakeili, S. M. (2020). Generating UML Class Diagram using NLP Techniques and Heuristic Rules. 2020 20th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA), 277–282. <https://doi.org/10.1109/sta50679.2020.9329301>
19. Tkachuk, M., Zinoviev, D. (2024). Development and investigation of an algorithmic model for adaptive management of software microservices configuration. *Information Processing Systems*, 2 (177), 107–111. <https://doi.org/10.30748/soi.2024.177.12>
20. OMG Unified Modeling Language TM (OMG UML). Version 2.5 (2015). Available at: <https://www.omg.org/spec/UML/2.5/PDF>
21. Statsmodels. Available at: <https://www.statsmodels.org/stable/index.html>
22. Spring Framework. Available at: <https://spring.io/projects/spring-framework>
23. Oracle Cloud Infrastructure Documentation. Monitoring. Available at: <https://docs.oracle.com/en-us/iaas/Content/Monitoring/Concepts/alertsbestpractices.htm>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.351414

#### DEVISING AN APPROACH TO CONSTRUCTING A SPECIALIZED DICTIONARY TO TRAIN CHATBOTS WITH GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE (p. 58–67)

**Olha Kryazhych**

Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1845-5014>

**Viacheslav Riznyk**

Hryhorii Skovoroda University in Pereiaslav, Pereiaslav, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6083-2242>

**Vasyl Vasenko**

Hryhorii Skovoroda University in Pereiaslav, Pereiaslav, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2527-6359>

**Vasyl Yakuba**

Hryhorii Skovoroda University in Pereiaslav, Pereiaslav, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2228-8522>

**Kateryna Iushchenko**

Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5183-816X>

**Oleksii Kuprin**

Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3730-4759>

**Oleksandr Tsyryl**

Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5945-5918>

This paper investigates the process that builds a subject-specific training dictionary for training a chatbot involving generative artificial intelligence. The task addressed is to reproduce the structured vocabulary characteristic of the relevant subject area from subject-specific knowledge when interacting with a chatbot.

The result of this study is the construction of a model for the process that sequentially manages independent user requests. The model made it possible to estimate the mathematical expectation of the stage number at which the processing of the request by the chatbot is completed.

Based on the constructed mathematical model, linear and logical-probabilistic models for building a specialized dictionary have been proposed. The linear model searches for a combination of words by sequentially searching for terms. The result of this approach is the comparison of a keyword from the query with the corresponding term or word form from the dictionary. The logical-probabilistic model is based on the target cell – a probable word from the user’s query. This is explained by the possibility of defining a word that agrees with the term of the XML dictionary and has maximum relevance to the user query.

A methodology and algorithm for building a specialized dictionary have been suggested. The tests made it possible to obtain average signature values for the response at an error of 0.004%, as well as ensure the stability of the results. In practice, this could be used under the conditions of forming a probability distribution of possible word combinations for generating a response.

The proposed approach could be used in practical tasks of chatbots’ domain adaptation, in particular at project support portals and in scientific libraries, as well as for improving intelligent dialog systems focused on the formation of refined user queries.

**Keywords:** large language model, subject-specific knowledge, terminology management, semantic consistency.

#### References

1. Yang, C., Zhao, R., Liu, Y., Jiang, L. (2025). Survey of specialized large language model. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2508.19667>
2. Adavala, K. M., Adavala, O. (2025). Domain-specific knowledge and context in large language models: challenges, concerns, and solutions. *IAES International Journal of Artificial Intelligence (IJ-AI)*, 14 (4), 2568. <https://doi.org/10.11591/ijai.v14.i4.pp2568-2578>
3. Zhu, Y., Yuan, H., Wang, S., Liu, J., Liu, W., Deng, C. et al. (2025). Large Language Models for Information Retrieval: A Survey. *ACM Transactions on Information Systems*, 44 (1), 1–54. <https://doi.org/10.1145/3748304>
4. Ai, Q., Bai, T., Cao, Z., Chang, Y., Chen, J., Chen, Z. et al. (2023). Information Retrieval meets Large Language Models: A strategic report from Chinese IR community. *AI Open*, 4, 80–90. <https://doi.org/10.1016/j.aiopen.2023.08.001>
5. Sharma, K., Kumar, P., Li, Y. (2025). OG-RAG: Ontology-grounded retrieval-augmented generation for large language models. *Proceedings of the 2025 Conference on Empirical Methods in Natural Language*

- Processing, 32950–32969. <https://doi.org/10.18653/v1/2025.emnlp-main.1674>
6. Manda, P. (2025). Large Language Models in Bio-Ontology Research: A Review. *Bioengineering*, 12 (11), 1260. <https://doi.org/10.3390/bioengineering12111260>
  7. Barron, R. C., Grantcharov, V., Wanna, S., Eren, M. E., Bhattarai, M., Solovyev, N. et al. (2024). Domain-Specific Retrieval-Augmented Generation Using Vector Stores, Knowledge Graphs, and Tensor Factorization. 2024 International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA), 1669–1676. <https://doi.org/10.1109/icmla61862.2024.00258>
  8. Fareedi, A. A., Ismail, M., Ahmed, S., Gagnon, S., Ghazawneh, A., Arooj, Z., Nazir, H. (2025). Enriching Human–AI Collaboration: The Ontological Service Framework Leveraging Large Language Models for Value Creation in Conversational AI. *Knowledge*, 6 (1), 2. <https://doi.org/10.3390/knowledge6010002>
  9. Mukanova, A., Nazyrova, A., Zulkhazhav, A., Lamasheva, Z., Dauletaliyeva, A. (2025). Development of an Intelligent Information Retrieval System Based on Ontology, Linguistic Algorithms and Large Language Models. *Applied Sciences*, 15 (22), 12271. <https://doi.org/10.3390/app152212271>
  10. Ahmad, J. M., Liu, Y., Kim, J.-D., Yao, X., Larmande, P., Xia, J. (2025). A curation system of rice trait ontology with reliable interoperability by LLM and PubAnnotation. *Genomics & Informatics*, 23 (1). <https://doi.org/10.1186/s44342-025-00058-z>
  11. Chen, L.-C., Pardeshi, M. S., Liao, Y.-X., Pai, K.-C. (2025). Application of retrieval-augmented generation for interactive industrial knowledge management via a large language model. *Computer Standards & Interfaces*, 94, 103995. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2025.103995>
  12. Wen, J., Liu, D., Xie, Y., Ren, Y., Wang, J., Xia, Y., Zhu, P. (2025). AcuGPT-Agent: An LLM-powered intelligent system for acupuncture-based infertility treatment. *Neurocomputing*, 652, 131116. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2025.131116>
  13. Rodríguez-Muñoz-de-Baena, I., Coronado-Vaca, M., Vaquero-Lafuente, E. (2025). Fine-tuning transformer models for M&A target prediction in the U.S. ENERGY sector. *Cogent Business & Management*, 12 (1). <https://doi.org/10.1080/23311975.2025.2487219>
  14. Byrd, C., Kingsbury, C., Niell, B., Funaro, K., Bhatt, A., Weinfurter, R. J., Ataya, D. (2025). Appropriateness of acute breast symptom recommendations provided by ChatGPT. *Clinical Imaging*, 125, 110549. <https://doi.org/10.1016/j.clinimag.2025.110549>
  15. Brown, E. D. L., Ward, M., Maity, A., Mittler, M. A., Larry Lo, S.-F., D'Amico, R. S. (2024). Enhancing Diagnostic Support for Chiari Malformation and Syringomyelia: A Comparative Study of Contextualized ChatGPT Models. *World Neurosurgery*, 189, e86–e107. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2024.05.172>
  16. Ni, W., Shen, Q., Liu, T., Zeng, Q., Xu, L. (2023). Generating textual emergency plans for unconventional emergencies – A natural language processing approach. *Safety Science*, 160, 106047. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.106047>
  17. Ganzinger, M., Kunz, N., Fuchs, P., Lyu, C. K., Loos, M., Dugas, M., Pausch, T. M. (2025). Automated generation of discharge summaries: leveraging large language models with clinical data. *Scientific Reports*, 15 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-01618-7>
  18. Xu, Y., Wang, T., Yuan, Y., Huang, Z., Chen, X., Zhang, B. et al. (2025). LLM-Enhanced Framework for Building Domain-Specific Lexicon for Urban Power Grid Design. *Applied Sciences*, 15 (8), 4134. <https://doi.org/10.3390/app15084134>
  19. Keng-Jung, P., Chin-Hung, K., Cheng-Yen, W., Peng, J.-W., Huang, C. Y., Chen, J.-C. (2021). Analyze the subordination structure between domain-specific vocabulary and meaning with the Word2Vec training process. 2021 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Taiwan (ICCE-TW), 1–2. <https://doi.org/10.1109/icce-tw52618.2021.9602966>
  20. Xu, K., Feng, Y., Li, Q., Dong, Z., Wei, J. (2025). Survey on terminology extraction from texts. *Journal of Big Data*, 12 (1). <https://doi.org/10.1186/s40537-025-01077-x>
  21. Lu, R.-S., Lin, C.-C., Tsao, H.-Y. (2024). Empowering Large Language Models to Leverage Domain-Specific Knowledge in E-Learning. *Applied Sciences*, 14 (12), 5264. <https://doi.org/10.3390/app14125264>
  22. Kryazhych, O., Ivanov, I., Iushchenko, K., Kupri, O., Vasenko, O., Riznyk, V., Ryzhkov, O. (2025). Devising an approach to preventing information chaos in chat bots using generative artificial intelligence. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (2 (134)), 84–95. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.324957>

---

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.351509

**REVEALING INTRINSIC DIMENSIONALITY PATTERNS IN SEMANTIC SPACES OF NATURAL LANGUAGES USING GRAPH ALGORITHMS (p. 68–76)**

**Assel Yerbolova**

Manash Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7119-4665>

**Ildar Kurmashev**

Manash Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9872-7483>

This study considers semantic spaces of n-grams (unigrams, bigrams, and trigrams) formed from natural language texts. The problem under consideration is related to the limitations of conventional approaches, which use semantic spaces of a fixed high dimensionality without taking into account their internal geometric structure. An experimental study of the internal dimensionality of vector representations of linguistic objects used in natural language processing tasks was conducted.

To solve the set task, graph algorithms for estimating internal dimension were applied. These algorithms are based on the analysis of minimum spanning tree statistics, allowing for estimates of both Hausdorff and topological dimensionalities. The experimental studies were conducted on corpora from national literatures in six languages – Russian, English, Kazakh, Kyrgyz, Tatar, and Uzbek – belonging to different typological groups. Vector representations of n-grams were formed using singular value decomposition of the context matrix, which allowed the dimensionality of embedding spaces to be varied without retraining the models.

The results revealed consistent differences in the intrinsic dimensionalities of semantic spaces of the studied languages and confirmed their multifractal nature. Interpretation of the findings suggests that the identified differences are due to the typological and structural features of the languages. The obtained estimates are robust to noise and changes in the dimensionality of the embedding space, ensuring the reproducibility of the results.

The practical significance of this work relates to the possibility of using intrinsic dimensionality as an engineering parameter in the

design and optimization of natural language processing systems to reduce computational and resource costs.

**Keywords:** intrinsic dimensionality, semantic spaces, graph algorithms, fractal structure, vector representations.

## References

- Peters, M., Neumann, M., Iyyer, M., Gardner, M., Clark, C., Lee, K., Zettlemoyer, L. (2018). Deep Contextualized Word Representations. Proceedings of the 2018 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, Volume 1 (Long Papers), 2227–2237. <https://doi.org/10.18653/v1/n18-1202>
- Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., Toutanova, K. (2018). BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1810.04805>
- Brown, T. B., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J., Dhariwal, P. et al. (2020). Language Models are Few-Shot Learners. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2005.14165>
- Dębowski, Ł. (2020). Information Theory Meets Power Laws. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119625384>
- Tanaka-Ishii, K. (2021). Language as a Complex System. *Statistical Universals of Language*, 19–30. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-59377-3\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-59377-3_3)
- Semple, S., Ferrer-i-Cancho, R., Gustison, M. L. (2022). Linguistic laws in biology. *Trends in Ecology & Evolution*, 37 (1), 53–66. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.08.012>
- Gromov, V. A., Migrina, A. M. (2017). A Language as a Self-Organized Critical System. *Complexity*, 2017, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2017/9212538>
- Malinetsky, G. G., Potapov, A. B. (2000). *Sovremennye problemy nelineinoy dinamiki*. Moscow: Editorial URSS.
- Pestov, V. (2007). Intrinsic dimension of a dataset: what properties does one expect? 2007 International Joint Conference on Neural Networks, 2959–2964. <https://doi.org/10.1109/ijcnn.2007.4371431>
- Gromov, M. (2007). *Metric Structures for Riemannian and Non-Riemannian Spaces*. Birkhäuser, 586. <https://doi.org/10.1007/978-0-8176-4583-0>
- Kantz, H., Schreiber, T. (2003). *Nonlinear Time Series Analysis*. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511755798>
- Panda, S. K., Nagy, A. M., Vijayakumar, V., Hazarika, B. (2023). Stability analysis for complex-valued neural networks with fractional order. *Chaos, Solitons & Fractals*, 175, 114045. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2023.114045>
- Brito, M. R., Quiroz, A. J., Yukich, J. E. (2013). Intrinsic dimension identification via graph-theoretic methods. *Journal of Multivariate Analysis*, 116, 263–277. <https://doi.org/10.1016/j.jmva.2012.12.007>
- Adams, H., Aminian, M., Farnell, E., Kirby, M., Mirth, J., Neville, R. et al. (2020). A Fractal Dimension for Measures via Persistent Homology. *Topological Data Analysis*, 1–31. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-43408-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-43408-3_1)
- Golub, G., Kahan, W. (1965). Calculating the Singular Values and Pseudo-Inverse of a Matrix. *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics Series B Numerical Analysis*, 2 (2), 205–224. <https://doi.org/10.1137/0702016>
- Bellegarda, J. R. (2007). Latent Semantic Mapping. *Latent Semantic Mapping: Principles & Applications*, 9–13. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-02556-3\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-031-02556-3_2)
- Kalman, D. (1996). A Singularly Valuable Decomposition: The SVD of a Matrix. *The College Mathematics Journal*, 27 (1), 2–23. <https://doi.org/10.1080/07468342.1996.11973744>
- Schweinhart, B. (2020). Fractal dimension and the persistent homology of random geometric complexes. *Advances in Mathematics*, 372, 107291. <https://doi.org/10.1016/j.aim.2020.107291>
- Steele, J. M. (1988). Growth Rates of Euclidean Minimal Spanning Trees with Power Weighted Edges. *The Annals of Probability*, 16 (4). <https://doi.org/10.1214/aop/1176991596>
- Gromov, V. A., Borodin, N. S., Yerbolova, A. S. (2024). A Language and Its Dimensions: Intrinsic Dimensions of Language Fractal Structures. *Complexity*, 2024 (1). <https://doi.org/10.1155/2024/8863360>
- Kuznetsov, S. O., Gromov, V. A., Borodin, N. S., Divavin, A. M. (2023). Formal Concept Analysis for Evaluating Intrinsic Dimension of a Natural Language. *Pattern Recognition and Machine Intelligence*, 331–339. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-45170-6\\_34](https://doi.org/10.1007/978-3-031-45170-6_34)
- Kuznetsov, S. O. (2009). Pattern Structures for Analyzing Complex Data. *Rough Sets, Fuzzy Sets, Data Mining and Granular Computing*, 33–44. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-10646-0\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-642-10646-0_4)

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.352878

## DEFINITION A CLUSTERIZATION METHOD TO SOLVE THE TASK OF EARLY IDENTIFICATION OF IT PRODUCT CONFIGURATION ELEMENTS (p. 77–90)

**Adrian Kozhanov**

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3586-6886>

**Maksym Ievlanov**

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6703-5166>

This study investigates the process that controls the IT project configuration.

The task addressed is early identification of configuration items (CIs) within an enterprise management information system (IS). Research in this area is aimed at solving the task of early identification of services when refactoring software systems. Up to now, the application of artificial intelligence methods to define CIs has not been studied in detail.

To solve the task of early identification of IS CIs, the density-based clustering algorithm Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise (DBSCAN) was adapted. The adapted DBSCAN was used to early define CIs in the functional task “Formation and maintenance of an individual plan of a scientific and pedagogical employee at a department”. As initial CIs, 10 functions and 12 entities in the database of the task were considered. The result is the sets of clusters that describe monolithic, modular, and service-oriented IS architectures.

A comparative analysis of the use of DBSCAN, Divisive Analysis, Agglomerative Nesting, Chameleon, and k-means methods and algorithms for solving the task of early identification was carried out. The criteria “Cumbersome solution” and “Identification of separated CIs” were used for comparison. The application of DBSCAN made it possible to form a solution from one (monolithic and modular architecture) or two (service-oriented architecture) clusters and to detect separated CIs. These values of the proposed criteria are the best for the selected group of clustering methods and algorithms.

Implementing the results makes it possible to automate a procedure for synthesizing the description of IS architecture. This automation would improve the quality of IS development by identifying a set of architectural entities of this IS for its design. This set is much smaller than the set of elementary IS functions.

**Keywords:** information system, configuration element, dense-based clustering, DBSCAN algorithm, Chebyshev distance.

## References

- Quigley, J. M., Robertson, K. L. (2019). Configuration Management. Auerbach Publications. <https://doi.org/10.1201/9780429318337>
- Bourque, P., Fairley, R. E. (2014). Guide to the Software Engineering Body of Knowledge. Version 3.0. IEEE Computer Society, 335. Available at: <https://dl.acm.org/doi/10.5555/2616205>
- IEEE/ISO/IEC 15288-2023. ISO/IEC/IEEE International Standard - Systems and software engineering--System life cycle processes. Available at: <https://standards.ieee.org/ieee/15288/10424/>
- Farayola, O. A., Hassan, A. O., Adaramodu, O. R., Fakeyede, O. G., Oladeinde, M. (2023). Configuration management in the modern era: best practices, innovations, and challenges. *Computer Science & IT Research Journal*, 4 (2), 140–157. <https://doi.org/10.51594/csitrv4i2.613>
- Reiff-Marganiec, S., Tilly, M. (Eds.) (2012). Handbook of Research on Service-Oriented Systems and Non-Functional Properties. IGI Global Scientific Publishing. <https://doi.org/10.4018/978-1-61350-432-1>
- Cadavid, H., Andrikopoulos, V., Avgeriou, P., Broekema, P. C. (2022). System and software architecting harmonization practices in ultra-large-scale systems of systems: A confirmatory case study. *Information and Software Technology*, 150, 106984. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2022.106984>
- Faitelson, D., Heinrich, R., Tyszberowicz, S. (2017). Supporting Software Architecture Evolution by Functional Decomposition. *Proceedings of the 5th International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development*, 435–442. <https://doi.org/10.5220/0006206204350442>
- Shahin, R. (2021). Towards Assurance-Driven Architectural Decomposition of Software Systems. *Computer Safety, Reliability, and Security. SAFECOMP 2021 Workshops*, 187–196. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-83906-2\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-030-83906-2_15)
- Suljkanović, A., Milosavljević, B., Indić, V., Dejanović, I. (2022). Developing Microservice-Based Applications Using the Silvera Domain-Specific Language. *Applied Sciences*, 12 (13), 6679. <https://doi.org/10.3390/app12136679>
- Felfernig, A., Le, V.-M., Popescu, A., Uta, M., Tran, T. N. T., Atas, M. (2021). An Overview of Recommender Systems and Machine Learning in Feature Modeling and Configuration. *Proceedings of the 15th International Working Conference on Variability Modelling of Software-Intensive Systems*, 1–8. <https://doi.org/10.1145/3442391.3442408>
- Abolfazli, A., Spiegelberg, J., Palmer, G., Anand, A. (2023). A Deep Reinforcement Learning Approach to Configuration Sampling Problem. *2023 IEEE International Conference on Data Mining (ICDM)*, 1–10. <https://doi.org/10.1109/icdm58522.2023.00009>
- Sellami, K., Saied, M. A., Ouni, A. (2022). A Hierarchical DBSCAN Method for Extracting Microservices from Monolithic Applications. *The International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering 2022*, 201–210. <https://doi.org/10.1145/3530019.3530040>
- Krause, A., Zirkelbach, C., Hasselbring, W., Lenga, S., Kroger, D. (2020). Microservice Decomposition via Static and Dynamic Analysis of the Monolith. *2020 IEEE International Conference on Software Architecture Companion (ICSA-C)*, 9–16. <https://doi.org/10.1109/icsa-c50368.2020.00011>
- Ievlanov, M., Vasilcova, N., Neumyvakina, O., Panforova, I. (2022). Development of a method for solving the problem of its product configuration analysis. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (2 (120)), 6–19. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.269133>
- Santos, J. L., Martins, L. E. G., Molléri, J. S. (2025). Requirements extraction from model-based systems engineering: A systematic literature review. *Journal of Systems and Software*, 226, 112407. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2025.112407>
- Ashfaq, M., Sadik, A. R., Das, T., Waseem, M., Mäkitalo, N., Mikkonen, T. (2026). Runtime composition in dynamic system of systems: A systematic review of challenges, solutions, tools, and evaluation methods. *Journal of Systems and Software*, 232, 112661. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2025.112661>
- Han, J., Kamber, M., Pei, J. (2012). *Data Mining: Concepts and Techniques*. Waltham: Morgan Kaufmann Publishers.
- Schubert, E., Sander, J., Ester, M., Kriegel, H. P., Xu, X. (2017). DBSCAN Revisited, Revisited. *ACM Transactions on Database Systems*, 42 (3), 1–21. <https://doi.org/10.1145/3068335>
- Ievlanov, M. (2016). Development of the model and method of selecting the description of rational architecture of information system. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (2 (79)), 4–12. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.60583>
- Vasylycova, N. V., Panforova, I. Yu. (2022). Research on the use of hierarchical clustering methods when solving the task of IT product configuration analysis. *Management Information System and Devices*, 178, 37–49. <https://doi.org/10.30837/0135-1710.2022.178.037>
- Ievlanov, M., Vasilcova, N., Neumyvakina, O., Panforova, I. (2024). Use of clustering methods to solve the problem of identifying configuration items in IT project. *PROJECT MANAGEMENT: INDUSTRY SPECIFICS*, 3–38. <https://doi.org/10.15587/978-617-8360-03-0.ch1>
- Ievlanov, M. V., Vasylytsova, N. V., Nykytiuk, V. A. (2011). Formalyzovannoe opysanye uslovyi yntehratsyy IT-servysov v ynfomatyyonnuu systemu upravlenyia predpriatyem. *Visnyk Akademii mytnoi sluzhby Ukrainy. Seriya «Tekhnichni nauky»*, 2 (46), 87–96. Available at: [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgi-irbis\\_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP\\_meta&C21COM=S&2\\_S21P03=FILA=&2\\_S21STR=vamsutn\\_2011\\_2\\_12](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgi-irbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=vamsutn_2011_2_12)
- Ievlanov, M., Vasilcova, N., Panforova, I., Moroz, B., Martynenko, A., Moroz, D. (2024). Comparison of solutions to the task of IT product configuration items early identification using hierarchical clusterization methods. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (2 (129)), 20–33. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.303526>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.353013

DEVELOPMENT OF THE SCITRACK INFORMATION SYSTEM FOR AUTOMATING REPORTING IN THE EDUCATIONAL PROCESS (p. 91–99)

Zhanna Shangitova

Kh. Dosmukhamedov Atyrau University,  
Atyrau, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7494-5208>

**Malika Shangitova**

Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau,  
Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0008-1746-6903>

**Baktygul Assanova**

Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau,  
Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1029-6266>

**Shynar Yelezhanova**

Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau,  
Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9815-9594>

**Zhadra Moldasheva**

Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau,  
Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0559-3410>

**Elvira Gaisina**

Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau,  
Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0004-4635-4573>

The object of the study is the automation of accounting and reporting of scientific activities in educational organizations. The problem addressed is the inefficiency and high labor intensity of existing approaches, as well as the limited adaptability of available solutions to institutional needs. With the digitalization of educational organizations, there is a growing demand for effective information systems that automate accounting processes and generate reports on academic and pedagogical activities. Existing solutions, mainly international and local Enterprise Resource Planning (ERP) systems, offer extensive functionality but are complex, resource-intensive, and poorly adapted to educational institutions.

A modular information system was designed and implemented, managing data on staff, publications, and awards, with a unified data model and automated report generation. The essence of the results lies in the development and validation of the SciTrack (Republic of Kazakhstan) system, which integrates all scientific activity data into a single structured environment and ensures automated processing and reporting.

Its modular design and centralized database eliminate data duplication, reduce manual work, and accelerate report preparation. SciTrack is easy to customize, simpler to implement than traditional ERP systems, and automatically calculates summary indicators, such as total publications and awards. Standardized data structures, centralized storage, and automated algorithms implemented in Python with a Tkinter interface explain these results.

The system improves reporting efficiency, reduces labor costs, and enhances analytical quality, demonstrating practical value for educational organizations. It can be deployed in universities with basic information technologies infrastructure requiring regular monitoring of research performance.

**Keywords:** information system, Python, Tkinter, reporting automation, smart technologies.

**References**

1. Bates, A. W., Sangrà, A. (2011). *Managing Technology in Higher Education: Strategies for Transforming Teaching and Learning*. Wiley. Available at: <https://www.wiley.com/en-us/Managing+Technology+in+Higher+Education%3A+Strategies+for+Transforming+Teaching+and+Learning-p-9780470584729>

2. Dahlstrom, E., Brooks, D. C., Bichsel, J. (2014). The Current Ecosystem of Learning Management Systems in Higher Education: Student, Faculty, and IT Perspectives. *EDUCAUSE*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3751.6005>
3. Woelert, P. (2023). Administrative burden in higher education institutions: a conceptualisation and a research agenda. *Journal of Higher Education Policy and Management*, 45 (4), 409–422. <https://doi.org/10.1080/1360080x.2023.2190967>
4. Davenport, T. H. (1998). Putting the Enterprise into the Enterprise System. *Harvard Business Review*, 76 (4), 121–131. Available at: <https://hbr.org/1998/07/putting-the-enterprise-into-the-enterprise-system>
5. Sholeh, Moch. B., Samodra, R. F., Widodo, A. P. (2024). Benefits and Challenges of ERP Implementation in Higher Education Institutions: A Systematic Literature Review. *Jurnal Sistem Informasi Bisnis*, 15 (1), 21–33. <https://doi.org/10.14710/vol15iss1pp21-33>
6. Jordon, N., Adetoyese, O. (2025). The Role of Modular Systems in Modern Enterprise Resource Planning (ERP) Solutions. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/391009786\\_The\\_Role\\_of\\_Modular\\_Systems\\_in\\_Modern\\_Enterprise\\_Resource\\_Planning\\_ERP\\_Solutions](https://www.researchgate.net/publication/391009786_The_Role_of_Modular_Systems_in_Modern_Enterprise_Resource_Planning_ERP_Solutions)
7. Islam, M. (2020). Data Analysis: Types, Process, Methods, Techniques and Tools. *International Journal on Data Science and Technology*, 6 (1), 10. <https://doi.org/10.11648/j.ijdst.20200601.12>
8. Noviandy, T. R., Idroes, G. M., Paristiwati, M., Idroes, R. (2025). Techniques and Tools in Learning Analytics and Educational Data Mining: A Review. *Journal of Educational Management and Learning*, 3 (1), 44–52. <https://doi.org/10.60084/jeml.v3i1.308>
9. Li, F. (2022). Research on Data Visualization Technology Based on Python. *International Journal of Multidisciplinary Research and Analysis*, 05 (05). <https://doi.org/10.47191/ijmra/v5-i5-03>
10. Rakhmetov, M., Abdykerimova, E., Alzhanov, G., Orazbayeva, B., Kuanbayeva, B. (2026). Methodological Framework for Designing AI-Based Distance Learning Platforms. *International Journal of Information and Education Technology*, 16 (1), 117–125. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2026.16.1.2488>
11. Mussiraliyeva, S., Omarov, B., Bolatbek, M., Bagitova, K., Alimzhanova, Z. (2021). Bigram Based Deep Neural Network for Extremism Detection in Online User Generated Contents in the Kazakh Language. *Advances in Computational Collective Intelligence*, 559–570. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-88113-9\\_45](https://doi.org/10.1007/978-3-030-88113-9_45)
12. Toliupa, S., Tereikovskiy, I., Tereikovska, L., Mussiraliyeva, S., Bagitova, K. (2020). Deep Neural Network Model for Recognition of Speaker's Emotion. *2020 IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)*, 172–176. <https://doi.org/10.1109/picst51311.2020.9468017>
13. Rakhmetov, M., Kuanbayeva, B., Saltanova, G., Zhusupkalieva, G., Abdykerimova, E. (2024). Improving the training on creating a distance learning platform in higher education: evaluating their results. *Frontiers in Education*, 9. <https://doi.org/10.3389/educ.2024.1372002>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2026.350506**

**DEVELOPMENT OF IMMERSIVE LIFE-LIKE VIRTUAL ENVIRONMENTS FOR NEXT-GENERATION EDUCATION (p. 100–109)**

**Yevgeniya Daineko**

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6581-2622>

**Dana Tsoy**

International IT University, Almaty, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0172-9760>

**Kuandyk Akshulakov**

National Defense University of the Republic of Kazakhstan,  
 Astana, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4714-9983>

**Askar Mustabekov**

National Defense University of the Republic of Kazakhstan,  
 Astana, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0009-0812-8774>

**Evgenij Makarov**

National Defense University of the Republic of Kazakhstan,  
 Astana, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2793-9101>

**Umitkhan Turzhanov**

International IT University, Almaty, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0008-3891-7822>

**Miras Uali**

International IT University, Almaty, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0007-2797-7742>

**Regina Sharshova**

International IT University, Almaty, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7367-6007>

The object of the study was a modular large-scale urban VR system designed for real-time standalone execution. The study addressed the absence of an engineering asset based on modular design and rule-based geometric reduction for developing large-scale urban virtual reality (VR) environments that preserve navigation-relevant realism under standalone real-time performance constraints. Existing study primarily focused on small-scale scenes or treated realism as a global aesthetic property without systematic resource allocation strategies for city-scale environments.

To solve this problem, a rule-based geometric reduction asset grounded in selective realism was developed and experimentally validated. Architectural objects were classified by spatial and functional significance (Classes A-C), and interior accessibility levels were introduced to regulate geometric complexity. A modular urban prototype comprising more than thirty architectural assets was implemented on a unified metric grid.

Geometric reduction decreased vertex count from 49,114 to 4,033 and polygon count from 89,840 to 5,615, representing more than a fifteenfold complexity reduction while preserving object hierarchy. Experimental validation ( $n = 20$ ) demonstrated high perceived spatial clarity (5.9/7), low navigation error rate (1.3 errors), mean completion time of  $4.8 \pm 1.2$  minutes, and 18% average route deviation. The framework proved applicable to standalone VR education scenarios under strict rendering constraints.

**Keywords:** selective realism, rule-based geometric reduction, navigation metrics, immersive STEM education.

**References**

- Ghoshal, M., Ong, J., Won, H., Koutsonikolas, D., Yildirim, C. (2022). Co-located Immersive Gaming: A Comparison between Augmented and Virtual Reality. 2022 IEEE Conference on Games (CoG), 594–597. <https://doi.org/10.1109/cog51982.2022.9893708>
- Hawkinson, E. (2023). Automation in Education with Digital Twins: Trends and Issues. *International Journal on Open and Distance E-Learning*, 8 (2). <https://doi.org/10.58887/ijodel.v8i2.229>
- Lexman, R. R., Baral, R. (2023). Digital twins in MOOCs: exploring ways to enhance interactivity. *Development and Learning in Organizations: An International Journal*, 38 (4), 23–26. <https://doi.org/10.1108/dlo-04-2023-0091>
- Rovati, L., Gary, P. J., Cubro, E., Dong, Y., Kilickaya, O., Schulte, P. J. et al. (2024). Development and usability testing of a patient digital twin for critical care education: a mixed methods study. *Frontiers in Medicine*, 10. <https://doi.org/10.3389/fmed.2023.1336897>
- Kim, S. J., Laine, T. H., Suk, H. J. (2021). Presence Effects in Virtual Reality Based on User Characteristics: Attention, Enjoyment, and Memory. *Electronics*, 10 (9), 1051. <https://doi.org/10.3390/electronics10091051>
- Psotka, J. (1995). Immersive training systems: Virtual reality and education and training. *Instructional Science*, 23 (5-6), 405–431. <https://doi.org/10.1007/bf00896880>
- Slater, M., Wilbur, S. (1997). A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6 (6), 603–616. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.6.603>
- Alexander, A. L., Brunyé, T., Sidman, J., Weil, S. A. (2005). From gaming to training: A review of studies on fidelity, immersion, presence, and buy-in and their effects on transfer in PC-based simulations and games. DARWARS Training Impact Group. Aptima, Inc. <https://cs.uky.edu/~sgware/reading/papers/alexander2005gaming.pdf>
- Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers & Education*, 147, 103778. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>
- Parsons, S. A., Vaughn, M., Scales, R. Q., Gallagher, M. A., Parsons, A. W., Davis, S. G. et al. (2017). Teachers' Instructional Adaptations: A Research Synthesis. *Review of Educational Research*, 88 (2), 205–242. <https://doi.org/10.3102/0034654317743198>
- Dey, A., Phoon, J., Saha, S., Dobbins, C., Billinghurst, M. (2020). Neurophysiological Effects of Presence in Calm Virtual Environments. 2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW), 744–745. <https://doi.org/10.1109/vrw50115.2020.00223>
- Petersen, G. B., Petkakis, G., Makransky, G. (2022). A study of how immersion and interactivity drive VR learning. *Computers & Education*, 179, 104429. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104429>
- Daineko, Y., Tsoy, D., Seitnur, A., Ipalakova, M. (2022). Development of a Mobile e-Learning Platform on Physics Using Augmented Reality Technology. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM)*, 16 (05), 4–18. <https://doi.org/10.3991/ijim.v16i05.26961>
- Huang, J., Klippel, A. (2020). The Effects of Visual Realism on Spatial Memory and Exploration Patterns in Virtual Reality. 26th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, 1–11. <https://doi.org/10.1145/3385956.3418945>
- Peschel, A. O., Frank, D.-A., Blumenkranz, D., Steinmann, S. (2024). Visual fidelity in the metaverse matters for memory performance. *Technological Forecasting and Social Change*, 205, 123511. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123511>
- Slater, M. (2009). Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364 (1535), 3549–3557. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0138>
- Grassini, S., Laumann, K. (2020). Questionnaire Measures and Physiological Correlates of Presence: A Systematic Review. *Frontiers in Psychology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00349>

18. Makransky, G., Petersen, G. B. (2021). The Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL): a Theoretical Research-Based Model of Learning in Immersive Virtual Reality. *Educational Psychology Review*, 33 (3), 937–958. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09586-2>
19. Dong, W., Qin, T., Yang, T., Liao, H., Liu, B., Meng, L., Liu, Y. (2021). Wayfinding Behavior and Spatial Knowledge Acquisition: Are They the Same in Virtual Reality and in Real-World Environments? *Annals of the American Association of Geographers*, 112 (1), 226–246. <https://doi.org/10.1080/24694452.2021.1894088>
20. Feng, Y., Duives, D. C., Hoogendoorn, S. P. (2022). Development and evaluation of a VR research tool to study wayfinding behaviour in a multi-story building. *Safety Science*, 147, 105573. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105573>
21. Rogla, O., Patow, G. A., Pelechano, N. (2021). Procedural crowd generation for semantically augmented virtual cities. *Computers & Graphics*, 99, 83–99. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2021.06.014>
22. Ding, Y., Song, Y. (2025). Vision-Degree-Driven Loading Strategy for Real-Time Large-Scale Scene Rendering. *Computers*, 14 (7), 260. <https://doi.org/10.3390/computers14070260>
23. Pan, S., Zhang, R., Liu, Y., Gong, M., Huang, H. (2025). Building LOD representation for 3D urban scenes. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 226, 16–32. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2025.04.026>
24. Mizuho, T., Narumi, T., Kuzuoka, H. (2023). Effects of the Visual Fidelity of Virtual Environments on Presence, Context-dependent Forgetting, and Source-monitoring Error. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 29 (5), 2607–2614. <https://doi.org/10.1109/tvcg.2023.3247063>
25. Austermann, C., Blanckenburg, F., Blanckenburg, K., Utesch, T. (2025). Exploring the impact of virtual reality on presence: findings from a classroom experiment. *Frontiers in Education*, 10. <https://doi.org/10.3389/educ.2025.1560626>
26. Hu, X., Wu, X., Ma, M., Xu, X., Gu, Y., Wang, G. et al. (2025). Efficient VR rendering: Survey on foveated, stereo, cloud, and low-power rendering techniques. *Virtual Reality & Intelligent Hardware*, 7 (5), 421–452. <https://doi.org/10.1016/j.vrih.2025.08.003>
27. Wang, L., Shi, X., Liu, Y. (2023). Foveated rendering: A state-of-the-art survey. *Computational Visual Media*, 9 (2), 195–228. <https://doi.org/10.1007/s41095-022-0306-4>
28. Najafi, P., Mohammadi, M., van Wesemael, P., Le Blanc, P. M. (2023). A user-centred virtual city information model for inclusive community design: State-of-art. *Cities*, 134, 104203. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104203>
29. Rodriguez-Garcia, B., Miguel-Alonso, I., Guillen-Sanz, H., Bustillo, A. (2025). LoD Calculator: A level of detail classification software for 3D models in the Blender environment. *SoftwareX*, 30, 102107. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2025.102107>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.352195

**IMPROVEMENT OF OBJECT CONTROL BASED ON INTERNET OF THINGS TECHNOLOGY UNDER VARIABLE DELAYS IN THE CONTROL NETWORK (p. 110–125)**

**Shyryn Tutkyshbayeva**

Astana IT University, Astana, Republic of Kazakhstan  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1419-2571>

**Alma Zakirova**

L.N. Gumilyov Eurasian National University,  
Astana, Republic of Kazakhstan  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8772-1414>

**Bakyt Nurbekov**

L.N. Gumilyov Eurasian National University,  
Astana, Republic of Kazakhstan  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5672-9584>

**Nurzhamal Kashkimbayeva**

Astana IT University, Astana, Republic of Kazakhstan  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6070-876X>

The study focuses on distributed control systems managing objects affected by varying and unpredictable delays, both in terrestrial and space applications. It examines how these delays impact the stability and accuracy of remote control systems, especially in environments with variable transmission times. The main issue addressed is instability caused by variable delays in IoT-based control systems, which affect both terrestrial systems (such as smart homes and industrial automation) and space missions (such as controlling space objects from Earth). The challenge is ensuring stable and accurate control despite unpredictable delays in communication channels.

A new control system design is proposed, incorporating a unique controller structure with a bypass channel to ensure stability under variable delays. The system was validated through mathematical modeling, showing a maximum overshoot of 3% in the PID configuration and near elimination of overshoot with the bypass channel. It outperforms traditional methods like the Smith predictor, which fails when delays deviate by as little as 1–3%. The proposed system ensures stable and accurate control in both terrestrial IoT applications, effectively handling unpredictable delays and maintaining performance in real-time environments.

**Keywords:** Internet of Things, PID-regulators, control, controllers, negative feedback, non-stationary objects, time delay, space systems.

**References**

1. Atzori, L., Iera, A., Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54 (15), 2787–2805. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>
2. Friess, P., Vermesan, O. (2022). *Internet of Things Applications - From Research and Innovation to Market Deployment*. River Publishers. <https://doi.org/10.1201/9781003338628>
3. Hespanha, J. P., Naghshtabrizi, P., Xu, Y. (2007). A Survey of Recent Results in Networked Control Systems. *Proceedings of the IEEE*, 95 (1), 138–162. <https://doi.org/10.1109/jproc.2006.887288>
4. Zhang, X.-M., Han, Q.-L., Ge, X., Ding, D., Ding, L., Yue, D., Peng, C. (2020). Networked control systems: a survey of trends and techniques. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 7 (1), 1–17. <https://doi.org/10.1109/jas.2019.1911651>
5. Szymanski, T. H. (2017). Security and Privacy for a Green Internet of Things. *IT Professional*, 19 (5), 34–41. <https://doi.org/10.1109/mitp.2017.3680952>
6. Dai, S.-L., Lin, H., Ge, S. S. (2010). Scheduling-and-Control Codesign for a Collection of Networked Control Systems With Uncertain Delays. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 18 (1), 66–78. <https://doi.org/10.1109/tcst.2008.2010459>
7. Zhmud, V., Sablina, G., Dimitrov, L., Trubin, V. (2016). The use of bypass channel for feedback control of oscillatory object well-known as difficult one for control. 2016 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON), 1–6. <https://doi.org/10.1109/sibcon.2016.7491767>
8. Tutkyshbayeva, S., Zakirova, A. (2024). Analysing IoT Digital Education: Fostering Students' Understanding and Digital Literacy. *Internationa*

tional Journal of Engineering Pedagogy (IJEP), 14 (4), 4–23. <https://doi.org/10.3991/ijep.v14i4.45489>

9. Choi, J.-Y., Krstic, M. (2015). Compensation of time-varying input delay for discrete-time nonlinear systems. *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, 26 (8), 1755–1776. <https://doi.org/10.1002/rnc.3382>
10. Bahill, A. (1983). A simple adaptive Smith-predictor for controlling time-delay systems: A tutorial. *IEEE Control Systems Magazine*, 3 (2), 16–22. <https://doi.org/10.1109/mcs.1983.1104748>
11. Tavakoli, S. (2024). Analytical design of modified Smith predictor for second-order stable time delay plants incorporating a zero. *Franklin Open*, 8, 100140. <https://doi.org/10.1016/j.fraope.2024.100140>
12. Zong, Y., Dai, X., Wei, Z., Zou, M., Guo, W., Gao, Z. (2023). Robust Time Synchronization for Industrial Internet of Things by  $H_\infty$  Output Feedback Control. *IEEE Internet of Things Journal*, 10 (3), 2021–2030. <https://doi.org/10.1109/jiot.2022.3144199>
13. Zhmud, V., Hardt, W., Stukach, O., Dimitrov, L., Nosek, J. (2019). The Parameter Optimization of the PID and PIDD Controller for a Discrete Object. *2019 Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/dynamics47113.2019.8944718>
14. Mishra, P., Patjoshi, R. K., Yadav, A. K. (2023). A Delay Compensation Approach for IoT-Enabled Networks with Different Control Strategies. *2023 Fifth International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/icecct56650.2023.10179610>
15. Sembayev, T., Nurbekova, Z., Tazabekova, P., Baigusheva, K., Naimanova, D. (2024). Enhancing educational resources through augmented reality-based assessment materials: a comprehensive study. *Proceedings of the International Conference on Computer Systems and Technologies 2024*, 213–220. <https://doi.org/10.1145/3674912.3674927>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.352588

**DEVELOPMENT OF A METHOD OF AUTOMATIC CONTROL OF ADDITIONAL WIND PROPULSION SYSTEM, PROPELLER AND STERN AS A SINGLE STRUCTURE OF SHIP ACTUATORS (p. 126–135)**

**Serhii Zinchenko**

Kherson State Maritime Academy, Odesa, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5012-5029>

**Kostyantyn Tovstokoryi**

Kherson State Maritime Academy, Odesa, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-1183-7324>

**Kostiantyn Tymofeiev**

Kherson State Maritime Academy, Odesa, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8668-6159>

**Dmytro Onyshko**

Kherson State Maritime Academy, Odesa, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8394-3091>

**Vadym Polishchuk**

Kherson State Maritime Academy, Odesa, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4970-8010>

This study investigates processes related to automatic optimal control over additional wind propulsion systems, propeller, and rudder as a single structure of vessel's actuators.

The maritime industry faces significant challenges because of increasingly stringent legislative requirements for reducing emissions of harmful substances into the atmosphere and improving the

climate. Among the wide range of technologies and fuel solutions considered in this context, one of the most promising ones are wind propulsion systems, which can significantly reduce fuel consumption by vessels and, as a result, decrease emissions of greenhouse gases and other harmful substances into the atmosphere. In known solutions, each sail of a wind propulsion system is equipped with a system of automatic optimal guidance to the wind, which allows for maximum utilization of wind energy.

This work considers the issues of additional reduction of fuel consumption by a single-propeller conventional vessel with a wind propulsion system when moving along the route, in comparison with known solutions. The results are attributed to the use on-board controller in the vessel movement control system; to the calculation, at each step of the on-board controller, of optimal controls for the wind propulsion system, propeller, and rudder as a single structure of vessel's actuators. Optimal controls are found by solving the problem of conditional optimization of the objective function with constraints on equalities and inequalities type in the on-board controller. This allows for an additional 11% reduction in fuel consumption compared to the prototype and, at the same time, providing the necessary steering forces and torque to maintain a vessel's desired movement along the route. Results can only be achieved if the on-board computer control system has sufficient power.

**Keywords:** additional wind propulsion systems, energy efficiency, conditional optimization, unified structure of actuators.

**References**

1. Louda, P., Marasnov, V., Sharko, A., Stepanchikov, D., Sharko, A. (2022). The Theory of Similarity and Analysis of Dimensions for Determining the State of Operation of Structures under Difficult Loading Conditions. *Materials*, 15 (3), 1191. <https://doi.org/10.3390/ma15031191>
2. Babichev, S., Sharko, O., Sharko, A., Mikhalyov, O. (2019). Soft Filtering of Acoustic Emission Signals Based on the Complex Use of Huang Transform and Wavelet Analysis. *Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making*, 3–19. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-26474-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-26474-1_1)
3. Louda, P., Sharko, A., Stepanchikov, D., Sharko, A. (2022). Experimental and Theoretical Study of Plastic Deformation of Epoxy Coatings on Metal Substrates Using the Acoustic Emission Method. *Materials*, 15 (11), 3791. <https://doi.org/10.3390/ma15113791>
4. Luo, Y., Kong, L., Fang, S., Shu, Y., Niu, T., Chen, G., Liao, R. (2024). Reviews on the power management for shipboard energy storage systems. *Sustainable Horizons*, 9, 100094. <https://doi.org/10.1016/j.horiz.2024.100094>
5. Zinchenko, S., Kyrychenko, K., Grosheva, O., Nosov, P., Popovych, I., Mamenko, P. (2023). Automatic Reset of Kinetic Energy in Case of Inevitable Collision of Ships. *2023 13th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*, 496–500. <https://doi.org/10.1109/acit58437.2023.10275545>
6. Kobets, V., Zinchenko, S., Tovstokoryi, O., Nosov, P., Popovych, I., Gritsuk, I., Perederyi, V. (2024). Automatic Prevention of the Vessel's Parametric Rolling on the Wave. *Proceedings of the 8th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems. Volume II: Modeling, Optimization, and Controlling in Information and Technology Systems Workshop (MOCITSW-CoLInS 2024)*. <https://doi.org/10.31110/colins/2024-2/016>
7. Zinchenko, S., Tovstokoryi, O., Popovych, I., Nosov, P., Onyshko, D., Kalinichenko, Y. (2025). Reconfiguration of Redundant Structures

- of Ship Actuators Using Zero Motion Method. 2025 15th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), 948–953. <https://doi.org/10.1109/acit65614.2025.11185810>
8. Zinchenko, S., Tovstokoryi, O., Kobets, V., Kyrchenko, K. (2025). Intelligent system for reconfiguring the redundant structure of ship actuators without disturbance. Proceedings of the Intelligent Systems Workshop at 9th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems (CoLInS-2025). <https://doi.org/10.31110/colins/2025-2/009>
  9. Kobets, V., Popovych, I., Zinchenko, S., Nosov, P., Tovstokoryi, O., Kyrchenko, K. (2023). Control of the Pivot Point Position of a Conventional Single-Screw Vessel. Proceedings of the 11-th International Conference “Information Control Systems & Technologies”, 130–140. Available at: <https://ceur-ws.org/Vol-3513/paper11.pdf>
  10. Laursen, R., Patel, H., Sofiadi, D., Zhu, R., Nelissen, D., Seters, V., Pang, D. (2023). Potential of wind – assisted propulsion for shipping. European Maritime Safety Agency (EMSA). Available at: <https://www.emsa.europa.eu/publications/item/5078-potential-of-wind-assisted-propulsion-for-shipping.html>
  11. Berge Olympus. Available at: <https://www.bergebulk.com/our-fleet/berge-olympus/>
  12. Wind Challenger. The Wind Assisted Ship Propulsion System. Available at: <https://www.mol-service.com/en/services/energy-saving-technologies/wind-challenger>
  13. Li, Z., Wang, K., Liu, Y., Liang, H., Zhang, D., Wang, Z. et al. (2026). Evaluation of energy-saving effects of a wing-typed sail-assisted ship using wind energy density route analysis. *Ocean Engineering*, 345, 123693. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2025.123693>
  14. Zhang, S., Wang, X., Zhen, L. (2026). Shipping service design for wind-assisted ships. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 209, 104720. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2026.104720>
  15. Li, Z., Wang, K., Ruan, Z., Li, D., Liang, H., Ma, R. et al. (2025). A fuel consumption prediction model for wind-assisted ship based on operational data. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 149, 105045. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2025.105045>
  16. Cairns, J., Veza, M., Green, R., MacVicar, D. (2021). Numerical optimisation of a ship wind-assisted propulsion system using blowing and suction over a range of wind conditions. *Ocean Engineering*, 240, 109903. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.109903>
  17. Nyanya, M. N., Vu, H. B., Schönborn, A., Ölçer, A. I. (2021). Wind and solar assisted ship propulsion optimisation and its application to a bulk carrier. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 47, 101397. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101397>
  18. Zhu, J., Chen, L., Miao, R. (2025). Optimization of sail-hybrid electric power system for ships considering correlated environmental uncertainties. *Applied Energy*, 391, 125862. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.125862>
  19. Wang, Z., Chen, L., Huang, L., Wang, K., Ma, R., Wang, B. (2025). A novel multivariable coupling optimization method of wind-assisted propulsion system for a large crude carrier. *Energy*, 322, 135720. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.135720>
  20. Zinchenko, S. M., Tovstokoryi, K. O. (2025). Conditional optimization of vessel controls with wind additional propulsion system. *Scientific Bulletin Kherson State Maritime Academy*, 2 (31), 30–40. <https://doi.org/10.33815/2313-4763.2025.2.31.030-040>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.351605

**РОЗРОБЛЕННЯ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОГО МЕТОДУ ОЦІНКИ СТАНУ ЗРУЙНОВАНИХ БУДІВЕЛЬ ЗА ЗОБРАЖЕННЯМИ З БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ (с. 6–16)**

**О. В. Мазурець, М. О. Молчанова, М. О. Шурипа, О. В. Собко**

Об'єктом дослідження є процес оцінювання стану зруйнованих будівель за аерофотознімками з безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Проблема, що вирішувалась: післявоєнний моніторинг територій ускладнюється обсягом супутникових і БПЛА-знімків, що перевищує можливості огляду експертом, а відсутність інструментів однорідної інтерпретації та доменний зсув знижують відтворюваність оцінювання. Запропонований двоетапний нейромережевий метод поєднує сегментацію забудови та визначення рівня руйнування будівель за чотирирівневою шкалою пошкоджень: «відсутні», «незначні», «значні», «зруйновано». Як вихідний матеріал застосовано корпус «xView2», доповнений власними розміченими знімками з БПЛА.

Для виділення контурів будівель застосовано сегментаційні моделі «You Only Look Once» (YOLO) версій v8s і v11n, а для класифікації пошкоджень – Vision Transformer (ViT). Експерименти виконано в Google Colab (США) з використанням PyTorch (США) та Ultralytics (Велика Британія). Для сегментаційних моделей обчислено Mean Average Precision (mAP). Показники mAP залишаються прийнятними навіть у складних урбанізованих сценах.

Для класифікаційної моделі ViT отримано значення Precision, Recall та F<sub>1</sub>-міри понад 0.9. Досягнуті значення пояснюються поєднанням двоетапної архітектури та балансування вибірки.

Розроблений метод застосовний до супутникових і БПЛА-знімків, на відміну від існуючих рішень, зберігає стійкість при доменному зсуві. Отримані моделі можуть бути впроваджені як базовий модуль геоінформаційних систем та систем підтримки прийняття рішень, забезпечуючи практичне використання результатів роботи. Для коректної роботи необхідні достатня роздільна здатність та репрезентативність навчальної вибірки.

**Ключові слова:** БПЛА, аерофотознімки, YOLO, ViT, нейромережева класифікація руйнувань, оцінювання пошкоджень будівель.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.352589

**РОЗРОБКА СИСТЕМИ АНАЛІЗУ ДИСПЕРСНОГО СКЛАДУ ЕМУЛЬСІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ МАШИННОГО ЗОРУ (с. 17–24)**

**В. В. Косенко, А. П. Коротинський, О. О. Семінський**

У роботі розглядається можливість застосування послідовностей методів машинного зору для автоматичного визначення складу неоднорідних дисперсних систем на прикладі емульсій. Це розширює аналітичну базу, зменшує вплив людського фактору на точність і надійність аналізу та підвищує його швидкодю. Під час дослідження для фотографій мікроскопії виконано zero-shot сегментацію за допомогою чотирьох сегментаторів. Отримані сегменти апроксимовано колами на основі методу bounding volume (BV). Ефективність сегментації оцінено за критерієм Intersection over Union (IoU) шляхом порівняння результатів із масками, розміченими оператором. Середні значення IoU для використаних моделей становлять 0,64–0,68. Застосування BV підвищує узгодженість з еталонними масками: середнє IoU після апроксимації колами становить близько 0,75. Загальна ефективність застосування запропонованої автоматичної системи у вигляді послідовності сегментації та BV визначалася шляхом аналізу розподілів крапель емульсії за діаметрами. Порівняння розподілів показало, що дані отримані з використанням автоматичної системи узгоджуються з даними оператора для фракцій з розмірами понад 15 рх. Однак при використанні автоматичної системи занижується частка дрібних фракцій, що призводить до систематичного зсуву інтегральної оцінки. Також встановлено, що аналіз методом BV окремо кожної маски, отриманої після сегментації, швидший на 40–60%, ніж аналіз однієї об'єднаної маски. Такий аналіз окремих масок також практично корисніший у випадках контакту крапель.

**Ключові слова:** сегментація зображень, аналіз емульсії, машинний зір, розподіл крапель, діаметр краплі.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.352117

**РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ КЛАСИФІКАЦІЇ ТА МЕТОДУ ПІДСИЛЕННЯ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ФЕЙКОВИХ НОВИН: ФІЛЬТРАЦІЯ ТА ОРІЄНТАЦІЯ (с. 25–35)**

**Zhanna Suimenbaeva, Pramod Kumar Aylapogu, Ruslan Kassym, Arai Tolegenova, Begaidar Sarsekulov, Nurlan Suimenbayev, Yerdaulet Beibit, Akmaral Tlenshiyeva, Ayaulym Kassym, Mussapirova Gulzada**

Об'єктом цього дослідження є текстовий новинний контент, що розповсюджується через онлайн-медіа та платформи соціальних мереж, представлений у вигляді векторних об'єктів, сформованих на основі неструктурованих текстових даних та використаних для подальшого автоматизованого аналізу. Проблема, що вирішується в цьому дослідженні, полягає в обмеженій ефективності, стабільності та узагальнюючій здатності традиційних методів машинного навчання у виявленні фейкових новин, особливо в умовах неоднорідних наборів даних, зашумлених текстових характеристик та динамічно змінних лінгвістичних шаблонів, що негативно впливає на якість класифікації.

У статті пропонується метод підвищення ефективності машинного навчання на основі комбінованого використання SVM та алгоритму AdaBoost. Для формування інформативного представлення текстових даних використовується складна попередня обробка та вилучення ознак за допомогою моделі TF-IDF. Експериментальна перевірка методу була проведена на чотирьох відкритих наборах даних: ISOT, Kaggle, News Trends та Reuters.

Результати показують, що запропонована ансамблева модель SVM з AdaBoost перевершує базовий класифікатор SVM та низку традиційних алгоритмів. Точність збільшилася з 0,8175 для базової моделі до 0,83 для SVM+AdaBoost, тоді як запам'ятовування збільшилося на 4,02%, середня точність запам'ятовування збільшилася на 2,22%, а індекс F1 збільшився на 1,84%, тоді як стабільність точності тесту знизилася лише незначно на 0,19%. Покращення пояснюється адаптивним покращенням AdaBoost внеску важко класифікованих об'єктів та зменшенням кількості помилок при помірній обчислювальній складності.

Розроблений підхід може бути ефективно застосований в автоматизованих системах моніторингу новинного контенту та соціальних мереж за наявності розмічених текстових даних та обмежених обчислювальних ресурсів.

**Ключові слова:** фейкові новини, соціальні мережі, інфодемія, машинне навчання, автоматичне виявлення дезінформації.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2026.352029**

### **ВИЯВЛЕННЯ ВРАЗЛИВОСТЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ ВЕЛИКИХ МОВНИХ МОДЕЛЕЙ У ПРОГРАМНИХ РІШЕННЯХ, ОРІЄНТОВАНИХ НА БЕЗПЛОТНІ ЛІТАЛЬНІ АПАРАТИ (с. 36–47)**

**А. В. Войцеховський, І. В. Стьопочкіна, Р. Sun, J. Xie, М. І. Льїн, О. М. Новіков**

Об'єктом дослідження є бінарні зразки програмного забезпечення (ПЗ) для функціонування та керування безпілотними літальними апаратами (БпЛА). Розглядається проблема виявлення вразливостей у ПЗ БпЛА в умовах відсутності вихідного коду застосунків. Запропоновано удосконалений метод автоматизованого виявлення вразливостей та відповідний алгоритм, універсальний шаблон інструкцій, архітектурну модель для автоматизованого пошуку вразливостей із залученням можливостей великих мовних моделей (LLM). Порівняно із методом фазингу запропонований метод дає в середньому підвищення точності до 94,7% при скороченні часу аналізу в 4 рази.

Запропонований метод виявлення вразливостей програмного забезпечення БпЛА інтегрує інструменти бінарного аналізу з можливостями логічного виводу та розпізнавання патернів LLM. Відповідний алгоритм виявлення вразливостей програмного забезпечення БпЛА складається з етапів обробки, статичного аналізу, логічних виводів за допомогою LLM, перевірки, кореляції з відомими вразливостями та звітування. Шаблон інструкцій не залежить від особливостей зразка та інструментів і забезпечує точні логічні висновки. Нова архітектурна модель комунікації на основі протоколу «Модель-Контекст» (MCP) забезпечує універсальну взаємодію між LLM та інструментами декомпіляції.

Здійснено порівняльний аналіз застосувань метода для різних реалізацій хмарних LLM. Ключові переваги включають генерацію детальних звітів про вразливість, скорочення часу аналізу з годин до хвилин завдяки автоматизації та зниження вимог до кваліфікації інженерів-реверсерів, які проводять аналіз. Запропоновані рішення роблять можливою проактивну оцінку безпеки програмного забезпечення БпЛА.

**Ключові слова:** аналіз прошивок ПЗ БпЛА, LLM-керований бінарний аналіз вразливостей, протокол MCP, розширення контексту бінарного аналізу.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2026.351604**

### **РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МОДЕЛЬНО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ІНСТРУМЕНТАРІЮ ДЛЯ СИСТЕМ Е-БАНКІНГУ НА ОСНОВІ МІКРОСЕРВІСІВ (с. 48–57)**

**Т. І. Даас, М. В. Ткачук**

Об'єктом дослідження є процеси розробки та супроводу систем е-Banking, побудованих з використанням мікросервісної архітектури, з урахуванням необхідності забезпечення відповідного рівня показників якості програмного забезпечення. У роботі вирішувалась проблема інтеграції знання-орієнтованих моделей та інтелектуальних методів у модельно-технологічний інструментарій необхідний для побудови мікросервісної архітектури для систем цього класу. Було розглянуто основні підходи та принципи побудови мікросервісної архітектури і обмеження їх застосування у домені е-Banking. Розроблена пропонується архітектура та створений прототип фрагменту системи е-Banking за допомогою визначеного модельно-технологічного інструментарію, а також проведено експериментальні дослідження метрик якості його функціонування. В результаті було доведено, що поєднання мікросервісної архітектури, архітектурних патернів та інтелектуальних методів усуває недоліки систем е-Banking, які побудовані на основі монолітної архітектури, та забезпечує належні показники якості програмного забезпечення.

Ключовими особливостями запропонованого підходу є інтеграція в розроблену архітектуру знання-орієнтованих моделей та інтелектуальних підходів, а також адаптація патернів проектування мікросервісної архітектури до вимог та особливостей функціонування систем е-Banking. Це дозволило підвищити показники продуктивності та надійності цих систем у порівнянні використанням монолітної архітектури, яка досі використовується для побудови цих систем. На практиці запропонована мікросервісна архітектура та досліджений інструментарій її імплементації можуть бути застосовані при розробці нових систем е-Banking чи оновленні архітектури вже існуючих.

**Ключові слова:** інтернет-банкінг, доменне моделювання, мікросервісна архітектура, програмне забезпечення, метрики, якість.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2026.351414****РОЗРОБЛЕННЯ ПІДХОДУ ДО СТВОРЕННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО СЛОВНИКА ДЛЯ ТРЕНУВАННЯ ЧАТ-БОТІВ З ГЕНЕРАТИВНИМ ШТУЧНИМ ІНТЕЛЕКТОМ (с. 58–67)****О. О. Кряжич, В. В. Різник, В. В. Васенко, В. В. Якуба, К. С. Ющенко, О. М. Купрін, О. О. Цируль**

Об'єктом дослідження є процес формування предметно-специфічного навчального словника для тренування чат-боту з генеративним штучним інтелектом. В роботі вирішувалася проблема відтворення характерної для відповідної предметної області структурованості лексики з предметно-специфічних знань при взаємодії з чат-ботом. Результатом роботи є формування моделі процесу послідовної обробки незалежних користувацьких звернень. Модель дозволила оцінити математичне очікування номера етапу, на якому завершується обробка запиту чат-ботом. На основі побудованої математичної моделі запропоновані лінійна та логіко-ймовірнісна моделі формування спеціалізованого словника. За лінійною моделлю здійснюється пошук комбінації слів за послідовним перебором термінів. Підсумком такого підходу є зіставлення ключового слова запиту з відповідним терміном або словоформою зі словника. Логіко-ймовірнісна модель базується на осередку цілі – ймовірному слову із запита користувача. Це пояснюється можливістю визначення слова, що узгоджується з терміном XML-словника та має максимальну релевантність до користувацького запиту. Запропоновано методика та алгоритм побудови спеціалізованого словника. Проведені випробування дозволили отримати середньосигнатурні значення відповіді з похибкою 0,004% та забезпечити стабільність результатів. На практиці подібне може бути використане за умов формування ймовірнісного розподілу можливих словесних комбінацій для генерації відповіді.

Запропонований підхід може бути використаний у практичних задачах доменної адаптації чат-ботів, зокрема на порталах підтримки проєктів і в наукових бібліотеках, а також для вдосконалення інтелектуальних діалогових систем, орієнтованих на формування уточнених користувацьких запитів.

**Ключові слова:** велика мовна модель, предметно-специфічні знання, управління термінологією, семантична узгодженість.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2026.351509****ВИЯВЛЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ВНУТРІШНЬОЇ РОЗМІРНОСТІ СЕМАНТИЧНИХ ПРОСТОРІВ ПРИРОДНИХ МОВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ГРАФОВИХ АЛГОРИТМІВ (с. 68–76)****Assel Yerbolova, Ildar Kurmashev**

Об'єктом дослідження є семантичні простори  $n$ -грам (уніграм, біграм і триграм), сформовані на основі текстів природних мов. Розглянута проблема пов'язана з обмеженістю традиційних підходів, що використовують семантичні простори фіксованої високої розмірності без урахування їхньої внутрішньої геометричної структури. Виконано експериментальне дослідження внутрішньої розмірності векторних представлень мовних об'єктів, які застосовуються в задачах обробки природної мови.

Для розв'язання поставленої задачі застосовано графові алгоритми оцінювання внутрішньої розмірності, засновані на аналізі статистик мінімальних остовних дерев, що дають змогу отримувати оцінки як гаусдорфовой, так і топологічної розмірності. Експериментальні дослідження проведено на корпусах національної літератури шести мов – російської, англійської, казахської, киргизької, татарської та узбецької, які належать до різних типологічних груп. Векторні представлення  $n$ -грам формувалися з використанням сингулярного розкладу матриці контекстів, що дозволило варіювати розмірність embedding-просторів без перенавчання моделей.

Отримані результати виявили стійкі відмінності у внутрішніх розмірностях семантичних просторів досліджуваних мов і підтвердили їхню мультифрактальну природу. Інтерпретація результатів свідчить, що виявлені відмінності зумовлені типологічними та структурними особливостями мов. Отримані оцінки є стійкими до шуму та змін розмірності простору вкладення, що забезпечує відтворюваність результатів. Практична значущість роботи полягає у можливості використання внутрішньої розмірності як інженерного параметра під час проектування та оптимізації систем обробки природної мови з метою зниження обчислювальних і ресурсних витрат.

**Ключові слова:** внутрішня розмірність, семантичні простори, графові алгоритми, фрактальна структура, векторні представлення.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2026.352878****ВИЗНАЧЕННЯ МЕТОДУ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ РАННЬОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ КОНФІГУРАЦІЙНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ІТ-ПРОДУКТА (с. 77–90)****А. С. Кожанов, М. В. Євланов**

Об'єкт дослідження – процес управління конфігурацією ІТ-проєкту.

У дослідженні вирішувалася проблема ранньої ідентифікації конфігураційних елементів (CI) інформаційної системи (IC) управління підприємством. Дослідження в цій галузі спрямовані на вирішення задачі ранньої ідентифікації сервісів під час рефакторингу програмних систем. Питання застосування методів штучного інтелекту для виявлення CI досліджені недостатньо.

Для вирішення задачі ранньої ідентифікації CI IC було адаптовано щільнісний алгоритм кластеризації Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise (DBSCAN). Адаптований DBSCAN використано для ранньої ідентифікації CI функціональної задачі «Формування

і ведення індивідуального плану науково-педагогічного працівника кафедри». Як вихідні СІ розглянуто 10 функцій та 12 сутностей бази даних задачі. Результатом рішення є набори кластерів, які описують монолітну, модульну та сервіс-орієнтовану архітектури ІС.

Проведено порівняльний аналіз використання методів та алгоритмів DBSCAN, Divisive Analysis, Agglomerative Nesting, Chameleon та k-means для вирішення задачі ранньої ідентифікації. Для порівняння використано критерії «Громідзкість рішення» та «Виявлення відокремлених СІ». Використання DBSCAN дозволило сформулювати рішення з одного (монолітна та модульна архітектури) або двох (сервіс-орієнтована архітектура) кластерів та виявити відокремлені СІ. Ці значення запропонованих критеріїв є найкращими для обраної групи методів та алгоритмів кластеризації.

Використання отриманих результатів дозволяє автоматизувати процедуру синтезу опису архітектури ІС. Ця автоматизація підвищить якість розробки ІС за рахунок виділення для проектування множини архітектурних сутностей цієї ІС. Ця множина є значно меншою, ніж множина елементарних функцій ІС.

**Ключові слова:** інформаційна система, конфігураційний елемент, щільнісна кластеризація, алгоритм DBSCAN, відстань Чебишова.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2026.353013**

### **РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ SCITRACK ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЗВІТНОСТІ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ (с. 91–99)**

**Zhanna Shangitova, Malika Shangitova, Baktygul Assanova, Shynar Yelezhanova, Zhadra Moldasheva, Elvira Gaisina**

Об'єктом дослідження є автоматизація обліку та звітності наукової діяльності в освітніх організаціях. Проблема, що розглядається, полягає в неефективності та високій трудомісткості існуючих підходів, а також обмеженій адаптації доступних рішень до потреб установ. Зі зростанням цифровізації освітніх організацій зростає попит на ефективні інформаційні системи, що автоматизують процеси обліку та формують звіти про академічну та педагогічну діяльність. Існуючі рішення, переважно міжнародні та локальні системи планування ресурсів підприємства (ERP), пропонують широкий функціонал, але є складними, ресурсоемними та погано адаптованими до освітніх закладів.

Було розроблено та впроваджено модульну інформаційну систему, яка керує даними про персонал, публікації та нагороди, з єдиною моделлю даних та автоматизованою генерацією звітів. Суть результатів полягає в розробці та валідації системи SciTrack (Республіка Казахстан), яка інтегрує всі дані наукової діяльності в єдине структуроване середовище та забезпечує автоматизовану обробку та звітність.

Її модульна конструкція та централізована база даних усувають дублювання даних, зменшують ручну роботу та пришвидшують підготовку звітів. SciTrack легко налаштовується, простіше впроваджується, ніж традиційні ERP-системи, та автоматично розраховує зведені показники, такі як загальна кількість публікацій та нагород. Стандартизовані структури даних, централізоване сховище та автоматизовані алгоритми, реалізовані на Python з інтерфейсом Tkinter, пояснюють ці результати.

Система підвищує ефективність звітності, зменшує витрати на оплату праці та підвищує якість аналізу, демонструючи практичну цінність для освітніх організацій. Вона може бути розгорнута в університетах з базовою інфраструктурою інформаційних технологій, що вимагає регулярного моніторингу ефективності досліджень.

**Ключові слова:** інформаційна система, Python, Tkinter, автоматизація звітності, розумні технології.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2026.350506**

### **РОЗРОБКА ІМЕРСИВНИХ РЕАЛЬНИХ ВІРТУАЛЬНИХ СЕРЕДОВИЩ ДЛЯ ОСВІТИ НАСТУПНОГО ПОКОЛІННЯ (с. 100–109)**

**Yevgeniya Daineko, Dana Tsoy, Kuandyk Akshulakov, Askar Mustabekov, Evgenij Makarov, Umitkhan Turzhanov, Miras Uali, Regina Sharshova**

Об'єктом дослідження виступала великомасштабна міська VR-система, розроблена для автономного (standalone) режиму реального часу. У дослідженні розглядалася проблема відсутності структурованої інженерної основи для розробки великомасштабних міських середовищ віртуальної реальності (VR), які б зберігали реалізм, необхідний для навігації, за обмежень продуктивності в реальному часі. Існуючі дослідження в основному зосереджувалися на дрібномасштабних сценах або розглядали реалізм як глобальну естетичну властивість без систематичних стратегій розподілу ресурсів для середовищ міського масштабу.

Було розроблено та перевірено масштабовану основу оптимізації, засновану на вибірковому реалізмі. Архітектурні об'єкти були класифіковані за просторовою значущістю (класи А-С), а для контролю геометричної складності були введені рівні доступності всередині. Модульне міське середовище, що складається з понад тридцяти архітектурних об'єктів, було побудовано на єдиній метричній сітці.

Геометрична оптимізація зменшила кількість вершин з 49 114 до 4033, а кількість полігонів – з 89 840 до 5615, що представляє собою більш ніж п'ятнадцятикратне зменшення складності при збереженні структурної композиції. Двадцять учасників експериментальної валідації продемонстрували високу сприйнятту просторову чіткість (5,9/7 за шкалою Лікерта), низький рівень помилок навігації (1,3 помилки на учасника), стабільну продуктивність навігації (середній час виконання завдання  $4,8 \pm 1,2$  хвилини) та середнє відхилення маршруту від оптимальних шляхів на 18%.

Результати показали, що оптимізація, заснована на вибірковому реалізмі, значно зменшила обчислювальне навантаження, зберігаючи при цьому когнітивну когерентність та ефективність навігації, тим самим сприяючи створенню масштабованих міських середовищ віртуальної реальності для дослідницьких та навчальних цілей.

**Ключові слова:** вибірковий реалізм, геометрична редукція на основі правил, метрики навігації, імерсивна STEM-освіта.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2026.352195****УДОСКОНАЛЕННЯ КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТАМИ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ЗА ВМІСТУ ЗМІННИХ ЗАТРИМОК У МЕРЕЖІ КЕРУВАННЯ (с. 110–125)****Shyryn Tutkyshbayeva, Alma Zakirova, Bakhyt Nurbekov, Nurzhamal Kashkimbayeva**

Дослідження зосереджене на розподілених системах керування об'єктами, на які впливають різні та непередбачувані затримки, як у наземних, так і в космічних застосуваннях. У ньому розглядається, як ці затримки впливають на стабільність і точність систем дистанційного керування, особливо в середовищах зі змінним часом передачі. Основною проблемою, що розглядається, є нестабільність, спричинена змінними затримками в системах керування на основі Інтернету речей, які впливають як наземні системи (такі як розумні будинки та промислова автоматизація), так і на космічні місії (такі як керування космічними об'єктами з Землі). Завдання полягає в забезпеченні стабільного та точного керування, незважаючи на непередбачувані затримки в каналах зв'язку.

Запропоновано нову конструкцію системи керування, що включає унікальну структуру контролера з обхідним каналом для забезпечення стабільності за змінних затримок. Система була перевірена за допомогою математичного моделювання, показавши максимальне перевищення 3% у конфігурації PID та майже повне усунення перевищення з обхідним каналом. Вона перевершує традиційні методи, такі як предиктор Сміта, який виходить з ладу, коли затримки відхиляються всього на 1–3%. Запропонована система забезпечує стабільне та точне керування як у наземних застосуваннях Інтернету речей, ефективно обробляючи непередбачувані затримки та підтримуючи продуктивність у реальному часі.

**Ключові слова:** Інтернет речей, PID-регулятори, керування, контролери, негативний зворотний зв'язок, нестационарні об'єкти, затримка часу, космічні системи.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2026.352588****РОЗРОБКА МЕТОДУ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ДОДАТКОВИМИ ВІТРОРУШІЯМИ, ГВИНТОМ ТА СТЕРНОМ ЯК ЄДИНОЮ СТРУКТУРОЮ ВИКОНАВЧИХ ПРИСТРОЇВ СУДНА (с. 126–135)****С. М. Зінченко, К. О. Товстокорий, К. В. Тимофеев, Д. М. Онишко, В. О. Поліщук**

Об'єктом дослідження є процеси автоматичного оптимального керування додатковими вітрорушійями, гвинтом та стерном як єдиною структурою виконавчих пристроїв судна.

Морська галузь стикається зі значними викликами через дедалі жорсткіші законодавчі вимоги щодо скорочення викидів шкідливих речовин в атмосферу та покращення клімату. Серед широкого спектру технологій та паливних рішень, що розглядаються в цьому контексті, одними з найперспективніших є вітрові рушійні установки. Вони можуть суттєво зменшити споживання палива суднами та, як наслідок, зменшити викиди парникових газів та інших шкідливих речовин в атмосферу. У відомих рішеннях кожне вітрило рушійної установки обладнано системою автоматичного оптимального наведення на вітер, що дозволяє максимально використовувати енергію вітру. У роботі розглянуті питання додаткового зменшення витрат палива одногвинтового конвенційного судна з вітровою рушійною установкою при його русі по маршруту, у порівнянні з відомих рішеннями. Отримані результати пояснюються використанням у системі керування рухом судна бортового обчислювача; розрахунку, на кожному кроці бортового обчислювача, оптимальних керувань вітровою рушійною установкою, гвинтом та стерном як єдиною структурою виконавчих пристроїв судна. Оптимальні керування знаходяться шляхом вирішення у бортовому обчислювачі системи керування задачі умовної оптимізації цільової функції з обмеженнями типу рівностей та нерівностей. Це дозволяє додатково зменшити витрати палива, у порівнянні з прототипом, на 11% та одночасно забезпечити необхідні керуючі сили і момент для підтримування заданого руху судна по маршруту. Результати можуть бути досягнуті лише за наявності в системі керування бортового обчислювача достатньої потужності.

**Ключові слова:** додаткові вітрорушії, енергетична ефективність, умовна оптимізація, єдина структура виконавчих пристроїв.