

ABSTRACT AND REFERENCES

INFORMATION AND CONTROLLING SYSTEM

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.329263

DEVELOPMENT AN INTELLIGENT TASK SCHEDULING METHOD IN HETEROGENEOUS DISTRIBUTED INFORMATION SYSTEMS (p. 6–18)

Serhii Yenhalychyev

Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5298-2251>

Oleksii Leunencko

Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6864-0029>

Viacheslav Davydov

Science Entrepreneurship Technology University,
Kiyv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2976-8422>

The object of this study is the task scheduling process in heterogeneous distributed information systems. The scientific task addressed relates to the low efficiency of resource management, especially under conditions of dynamic workload and significant uncertainty, which are typical for distributed information systems. An intelligent task scheduling method has been devised for heterogeneous distributed information systems, which effectively combines DAG (Directed Acyclic Graph) and GERT (Graphical Evaluation and Review Technique) models with advanced artificial intelligence algorithms. The proposed method employs a Graph Attention Network (GAT) to account for probabilistic dependences between tasks and Proximal Policy Optimization (PPO) for dynamic control of task distribution within the system. Furthermore, a Bayesian method is used to optimize the assignment of tasks to computing nodes. The use of the proposed method reduced the average task execution time from 51.5 to 35.2 seconds, and the standard deviation of the load between nodes from 0.47 to 0.22.

These results are explained by the flexibility of the models to unforeseen changes and the ability to self-learn based on accumulated data. A feature of the method is the combination of classical graph models with probabilistic estimation and adaptive AI mechanisms, which made it possible not only to take into account the dynamics of the environment but also to ensure accurate response to changes in resource availability. By using GERT graphs, the algorithm forms alternative planning paths in case of failures or unforeseen delays, and machine learning components provide self-correction of decisions. The method is oriented towards application in cloud and IoT infrastructures, in which scalability, planning accuracy, and resilience to changes are critical.

Keywords: distributed computing systems, graph models, resource planning, intelligent management systems.

References

- Mikhav, V., Semenov, S., Meleshko, Y., Yakymenko, M., Shulika, Y. (2023). Constructing the mathematical model of a recommender system for decentralized peer-to-peer computer networks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (124)), 24–35. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.286187>
- Meleshko, Y., Raskin, L., Semenov, S., Sira, O. (2019). Methodology of probabilistic analysis of state dynamics of multidimensional semiMarkov dynamic systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (4 (102)), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.184637>
- Rama Krishna, M. S., Mangalampalli, S. (2023). A Systematic Review on Various Task Scheduling Algorithms in Cloud Computing. *EAI Endorsed Transactions on Internet of Things*, 10. <https://doi.org/10.4108/eetiot.4548>
- Sreenath, M., Vijaya, P. A. (2023). Comparative Study of Scheduling Algorithms for Multiprocessor Systems. *2023 International Conference on Intelligent and Innovative Technologies in Computing, Electrical and Electronics (IITCEE)*, 713–718. <https://doi.org/10.1109/iitcee57236.2023.10091017>
- Pachipala, Y., Sureddy, K. S., Kaitepalli, A. B. S. S., Pagadala, N., Nalabothu, S. S., Iniganti, M. (2024). Optimizing Task Scheduling in Cloud Computing: An Enhanced Shortest Job First Algorithm. *Procedia Computer Science*, 233, 604–613. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.03.250>
- Semenov, S., Lymarenko, V., Yenhalychyev, S., Gavrilenko, S. (2022). The Data Dissemination Planning Tasks Process Model Into Account the Entities Differently. *2022 12th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/deSSERT58054.2022.10018695>
- Sinnen, O. (2006). *Task Scheduling for Parallel Systems*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/0470121173>
- Semenov, S., Mozhaiev, O., Kuchuk, N., Mozhaiev, M., Tiulieniev, S., Gnusov, Y. et al. (2022). Devising a procedure for defining the general criteria of abnormal behavior of a computer system based on the improved criterion of uniformity of input data samples. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (4 (120)), 40–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.269128>
- Semenov, S., Liqiang, Z., Weiling, C. (2020). Penetration Testing Process Mathematical Model. *2020 IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)*, 142–146. <https://doi.org/10.1109/picst51311.2020.9468039>
- Jayswal, A. K., Lobiyal, D. K. (2022). A Comparative Study of Task Scheduling Metaheuristic Algorithms in Cloud Computing. *2022 12th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering (Confluence)*, 118–123. <https://doi.org/10.1109/confluence52989.2022.9734189>
- Pereira, I., Madureira, A., Costa e Silva, E., Abraham, A. (2021). A Hybrid Metaheuristics Parameter Tuning Approach for Scheduling through Racing and Case-Based Reasoning. *Applied Sciences*, 11 (8), 3325. <https://doi.org/10.3390/app11083325>
- Parizad, A., Hatziadoniu, C. (2022). Deep Learning Algorithms and Parallel Distributed Computing Techniques for High-Resolution Load Forecasting Applying Hyperparameter Optimization. *IEEE Systems Journal*, 16 (3), 3758–3769. <https://doi.org/10.1109/jsyst.2021.3130080>
- Savita, K., Gaurav, S., Bhawna, S. (2023). Hybrid Machine Learning Model for Load Prediction in Cloud Environment. *International Journal of Performability Engineering*, 19 (8), 507. <https://doi.org/10.23940/ijpe.23.08.p3.507515>
- Fang, Z., Ma, T., Huang, J., Niu, Z., Yang, F. (2025). Efficient Task Allocation in Multi-Agent Systems Using Reinforcement Learning and

- Genetic Algorithm. *Applied Sciences*, 15 (4), 1905. <https://doi.org/10.3390/app15041905>
15. Liu, Z., Guo, M., Bao, W., Li, Z. (2024). Fast and Adaptive Multi-Agent Planning under Collaborative Temporal Logic Tasks via Poset Products. *Research*, 7. <https://doi.org/10.34133/research.0337>
 16. Kumar, H., Tyagi, I. (2020). Hybrid model for tasks scheduling in distributed real time system. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 12 (2), 2881–2903. <https://doi.org/10.1007/s12652-020-02445-6>
 17. Yanamandram Kuppuraju, S., Sankaran, P., Patil, S. (2025). Hybrid Task Scheduling Using Genetic Algorithms and Machine Learning for Improved Cloud Efficiency. *International Journal For Multidisciplinary Research*, 7 (2). <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2025.v07i02.39380>
 18. Torres-Toledano, J. G., Sucar, L. E. (1998). Bayesian Networks for Reliability Analysis of Complex Systems. *Progress in Artificial Intelligence – IBERAMIA 98*, 195–206. https://doi.org/10.1007/3-540-49795-1_17
 19. Attar, S. F., Mohammadi, M., Pasandideh, S. H. R. (2025). A Bayesian network approach to production decisions by incorporating complex causal factors. *Journal of Management Science and Engineering*, 10 (2), 262–278. <https://doi.org/10.1016/j.jmse.2025.03.002>
 20. Huang, M.-C. (2024). A Sender-Initiated Fuzzy Logic Control Method for Network Load Balancing. *Journal of Computer and Communications*, 12 (08), 110–122. <https://doi.org/10.4236/jcc.2024.128007>
 21. Semenov, S., Zhang, L., Cao, W., Bulba, S., Babenko, V., Davydov, V. (2021). Development of a fuzzy GERT-model for investigating common software vulnerabilities. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (2 (114)), 6–18. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.243715>
 22. Moskalenko, V., Kharchenko, V., Semenov, S. (2024). Model and Method for Providing Resilience to Resource-Constrained AI-System. *Sensors*, 24 (18), 5951. <https://doi.org/10.3390/s24185951>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.331201

DEVSING A METHOD FOR RECEIVING A MULTIDIMENSIONAL SIGNAL USING HIGH-ORDER PHASE DIFFERENCE MODULATION IN NEXT-GENERATION MOBILE NETWORKS (p. 19–32)

Nataliia Halahan

State University of Information and Communication Technologies,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8582-3126>

Liubov Berkman

State University of Information and Communication Technologies,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6772-1596>

Oleksandr Drobyk

State University of Information and Communication Technologies,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9037-6663>

Anatoliy Makarenko

State University of Information and Communication Technologies,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4081-328X>

Vladyslav Zavatskyi

State University of Information and Communication Technologies,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5297-4127>

The object of this study is the process of receiving multidimensional signals formed on the basis of high-order phase-difference modulation of the data transmission system.

The development of mobile networks of the next generations is accompanied by increased requirements for the speed, reliability, and noise immunity of information transmission. Existing modulation methods provide an increase in the speed of information transmission by reducing noise immunity and increasing the spectral width of the signal. The general unsolved problem is the lack of an effective method for forming a multidimensional signal of the n th multiplicity and receiving it based on high-order phase-difference modulation, capable of improving the efficiency of these parameters.

The work proposes a method that makes it possible to form a three-dimensional multi-position signal 3D AFM-32, which uses three independent parameters – amplitude, phase, and time. A feature of the result is that noise immunity is ensured without increasing the spectral width of the signal, but due to three-dimensional formatting, which increases the distance between signal points by 50%.

A coherent reception algorithm has been developed that provides accurate signal recovery even in the presence of phase or frequency disturbances. It is shown that the reception efficiency is achieved at an averaging interval of not less than $M = 20$, at which the system demonstrates an error probability at the level of $SER \approx 10^{-8}$ at $E_b/N_0 \approx 17.4$ dB. This makes it possible to obtain an energy gain of 2–3 dB compared to QAM-32 and classical AFM.

The proposed approach is invariant to phase shifts due to the first and second order phase differences, which eliminates ambiguities during reception. 3D AFM-32 demonstrated higher noise immunity compared to QAM-16/32 and AFM-16/32 under the same conditions. The results could be used in 5G/6G networks, in particular in adaptive OFDM systems, autonomous transport, and telemetry.

Keywords: phase difference modulation, 32-position, 3D AFM-32, multidimensional, OFDM, noise immunity, coherent algorithm, energy efficiency, 5G/6G.

References

1. Rappaport, T. S., MacCartney, G. R., Samimi, M. K., Sun, S. (2015). Wideband Millimeter-Wave Propagation Measurements and Channel Models for Future Wireless Communication System Design. *IEEE Transactions on Communications*, 63 (9), 3029–3056. <https://doi.org/10.1109/tcomm.2015.2434384>
2. Shoaib, M., Husnain, G., Sayed, N., Lim, S. (2024). Unveiling the 5G Frontier: Navigating Challenges, Applications, and Measurements in Channel Models and Implementations. *IEEE Access*, 12, 59533–59560. <https://doi.org/10.1109/access.2024.3392761>
3. Banelli, P., Buzzi, S., Colavolpe, G., Modenini, A., Rusek, F., Ugolini, A. (2014). Modulation Formats and Waveforms for 5G Networks: Who Will Be the Heir of OFDM?: An overview of alternative modulation schemes for improved spectral efficiency. *IEEE Signal Processing Magazine*, 31 (6), 80–93. <https://doi.org/10.1109/msp.2014.2337391>
4. Pyatin, I., Boiko, J., Eromenko, O., Parkhomey, I. (2023). Implementation and analysis of 5G network identification operations at low signal-to-noise ratio. *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 21 (3), 496. <https://doi.org/10.12928/telkomnika.v21i3.22893>
5. Makarenko, A., Qasim, N., Turovsky, O., Rudenko, N., Polonskyi, K., Govorun, O. (2023). Reducing the impact of interchannel interference on the efficiency of signal transmission in telecommunication

systems of data transmission based on the ofdm signal. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (9 (121)), 82–93. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.274501>

6. Klymash, M., Berkman, L., Otrokh, S., Pilinsky, V., Chumak, O., Hryshchenko, O. (2021). Increasing the multi-position signals noise immunity of mobile communication systems based on high-order phase modulation. Selected Papers of the XXI International Scientific and Practical Conference “Information Technologies and Security” (ITS 2021), 147–157. Available at: <https://ceur-ws.org/Vol-3241/paper14.pdf>
7. Dogan Tusha, S., Tusha, A., Basar, E., Arslan, H. (2021). Multidimensional Index Modulation for 5G and Beyond Wireless Networks. Proceedings of the IEEE, 109 (2), 170–199. <https://doi.org/10.1109/jproc.2020.3040589>
8. Cai, Y., Qin, Z., Cui, F., Li, G. Y., McCann, J. A. (2018). Modulation and Multiple Access for 5G Networks. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 20 (1), 629–646. <https://doi.org/10.1109/comst.2017.2766698>
9. Bicaïs, S., Dore, J.-B. (2020). Design of Digital Communications for Strong Phase Noise Channels. IEEE Open Journal of Vehicular Technology, 1, 227–243. <https://doi.org/10.1109/ojvt.2020.2994626>
10. Shamasundar, B., Bhat, S., Jacob, S., Chockalingam, A. (2018). Multidimensional Index Modulation in Wireless Communications. IEEE Access, 6, 589–604. <https://doi.org/10.1109/access.2017.2772018>
11. Peng, M., Wang, X., Yang, X., Wang, D. (2024). A simple two-stage carrier-phase estimation algorithm for 32-QAM coherent optical communication systems. Frontiers in Physics, 12. <https://doi.org/10.3389/fphy.2024.1452087>
12. Zhang, G., Yang, P., Cai, Y., Hu, Q., Yu, G. (2024). From Analog to Digital: Multi-Order Digital Joint Coding-Modulation for Semantic Communication. IEEE Transactions on Communications, 1–1. <https://doi.org/10.1109/tcomm.2024.3511949>
13. Bian, Y., Cheng, X., Wen, M., Yang, L., Poor, H. V., Jiao, B. (2014). Differential Spatial Modulation. IEEE Transactions on Vehicular Technology. <https://doi.org/10.1109/tvt.2014.2348791>
14. Taylor, M. G. (2009). Phase Estimation Methods for Optical Coherent Detection Using Digital Signal Processing. Journal of Lightwave Technology, 27 (7), 901–914. <https://doi.org/10.1109/jlt.2008.927778>
15. Mostofi, Y., Cox, D. C. (2006). Mathematical analysis of the impact of timing synchronization errors on the performance of an OFDM system. IEEE Transactions on Communications, 54 (2), 226–230. <https://doi.org/10.1109/tcomm.2005.861675>
16. Elahi, A., Gul, N., Khan, S. U. (2021). EigenSpace-Based Generalized Sidelobe Canceler Applied for Sidelobe Suppression in Cognitive Radio Systems. Wireless Personal Communications, 121 (4), 3009–3028. <https://doi.org/10.1007/s11277-021-08861-x>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.329258

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR DETECTING CYBER ATTACKS ON INFORMATION SYSTEMS BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES (p. 33–39)

Salman Rasheed Owaid

Al Taff University College, Karbala, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1189-9707>

Hennadii Miahkykh

National Defense University of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4491-5395>

Elena Odarushchenko

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2293-2576>

Svitlana Kashkevich

State University “Kyiv Aviation Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4448-3839>

Andrii Shyshatskyi

State University “Kyiv Aviation Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6731-6390>

Ganna Plekhova

Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6912-6520>

Andrii Hrymud

National Defense University of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4012-5185>

Serhii Petruk

Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9664-1550>

Olena Shaposhnikova

Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0405-8205>

Vitalii Stryhun

State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, Cherkasy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3483-1315>

The object of this research is artificial immune systems. The problem addressed in the study is improving the responsiveness of cyberattack detection in information systems while ensuring a predetermined level of convergence, regardless of the number of destabilizing factors. The subject of the research is the cyberattack detection process.

A cyberattack detection method for information systems based on artificial intelligence technologies is proposed. The originality of the method lies in the use of additional enhanced procedures that allow:

- initializing the initial population of swarm agents and verifying information system parameters using an improved bat algorithm, which minimizes the error of entering incorrect data concerning the operational information system of military forces;
- performing initial identification of attacks specific to the given information system using a decision tree;
- adapting to the type and duration of cyberattacks through multi-level adaptation of the artificial immune system;
- conducting initial selection of antibodies for each swarm of the artificial immune system using an improved genetic algorithm;
- training general-swarm antibodies using elite-swarm antibodies, thereby enabling deep learning;
- replacing unfit individuals for search through antibody population renewal;
- performing simultaneous solution search in multiple directions;
- calculating the required amount of computational resources in cases where available resources are insufficient for the necessary calculations.

An example application of the proposed method was conducted for cyberattack detection in an operational military force group. The results demonstrated an average increase in detection accuracy by 16 %, an average improvement in responsiveness by 12 %, and a high result convergence level of 95.23 %.

Keywords: cyberattacks, decision tree, genetic algorithm, destabilizing factors, military force grouping.

References

- Sova, O., Radzivilov, H., Shyshatskyi, A., Shvets, P., Tkachenko, V., Nevhad, S. et al. (2022). Development of a method to improve the reliability of assessing the condition of the monitoring object in special-purpose information systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (3 (116)), 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254122>
- Dudnyk, V., Sinenko, Y., Matsyk, M., Demchenko, Y., Zhyvotovskiy, R., Repilo, I. et al. (2020). Development of a method for training artificial neural networks for intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (2 (105)), 37–47. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203301>
- Sova, O., Shyshatskyi, A., Salnikova, O., Zhuk, O., Trotsko, O., Hrokholskyi, Y. (2021). Development of a method for assessment and forecasting of the radio electronic environment. *EU-REKA: Physics and Engineering*, 4, 30–40. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001940>
- Pievtsov, H., Turinskyi, O., Zhyvotovskiy, R., Sova, O., Zvieriev, O., Lanetskii, B., Shyshatskyi, A. (2020). Development of an advanced method of finding solutions for neuro-fuzzy expert systems of analysis of the radioelectronic situation. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 78–89. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001353>
- Zuiev, P., Zhyvotovskiy, R., Zvieriev, O., Hatsenko, S., Kuprii, V., Nakonechnyi, O. et al. (2020). Development of complex methodology of processing heterogeneous data in intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (106)), 14–23. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208554>
- Wang, J., Neil, M., Fenton, N. (2020). A Bayesian network approach for cybersecurity risk assessment implementing and extending the FAIR model. *Computers & Security*, 89, 101659. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2019.101659>
- Matheu-García, S. N., Hernández-Ramos, J. L., Skarmeta, A. F., Baldini, G. (2019). Risk-based automated assessment and testing for the cybersecurity certification and labelling of IoT devices. *Computer Standards & Interfaces*, 62, 64–83. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2018.08.003>
- Henriques de Gusmão, A. P., Mendonça Silva, M., Poletto, T., Camara e Silva, L., Cabral Seixas Costa, A. P. (2018). Cybersecurity risk analysis model using fault tree analysis and fuzzy decision theory. *International Journal of Information Management*, 43, 248–260. <https://doi.org/10.1016/j.jinfomgt.2018.08.008>
- Folorunso, O., Mustapha, O. A. (2015). A fuzzy expert system to Trust-Based Access Control in crowdsourcing environments. *Applied Computing and Informatics*, 11 (2), 116–129. <https://doi.org/10.1016/j.aci.2014.07.001>
- Mohammad, A. (2020). Development of the concept of electronic government construction in the conditions of synergetic threats. *Technology Audit and Production Reserves*, 3 (2 (53)), 42–46. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.207066>
- Bodin, L. D., Gordon, L. A., Loeb, M. P., Wang, A. (2018). Cybersecurity insurance and risk-sharing. *Journal of Accounting and Public Policy*, 37 (6), 527–544. <https://doi.org/10.1016/j.jaccpubpol.2018.10.004>
- Cormier, A., Ng, C. (2020). Integrating cybersecurity in hazard and risk analyses. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 64, 104044. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2020.104044>
- Hoffmann, R., Napiórkowski, J., Protasowicki, T., Stanik, J. (2020). Risk based approach in scope of cybersecurity threats and requirements. *Procedia Manufacturing*, 44, 655–662. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.243>
- Perrine, K. A., Levin, M. W., Yahia, C. N., Duell, M., Boyles, S. D. (2019). Implications of traffic signal cybersecurity on potential deliberate traffic disruptions. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 120, 58–70. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.12.009>
- Promyslov, V. G., Semenov, K. V., Shumov, A. S. (2019). A Clustering Method of Asset Cybersecurity Classification. *IFAC-PapersOnLine*, 52 (13), 928–933. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.313>
- Zarreh, A., Saygin, C., Wan, H., Lee, Y., Bracho, A. (2018). A game theory based cybersecurity assessment model for advanced manufacturing systems. *Procedia Manufacturing*, 26, 1255–1264. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.07.162>
- Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies*, 24 (1), 65–75. [https://doi.org/10.1016/s0020-7373\(86\)80040-2](https://doi.org/10.1016/s0020-7373(86)80040-2)
- Koval, M., Sova, O., Shyshatskyi, A., Artabaiev, Y., Garashchuk, N., Yivzhenko, Y. et al. (2022). Improving the method for increasing the efficiency of decision-making based on bio-inspired algorithms. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (4 (120)), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.268621>
- Maccarone, A. D., Brzorad, J. N., Stone, H. M. (2008). Characteristics And Energetics Of Great Egret And Snowy Egret Foraging Flights. *Waterbirds*, 31 (4), 541–549. <https://doi.org/10.1675/1524-4695-31.4.541>
- Litvinenko, O., Kashkevich, S., Shyshatskyi, A., Dmytriieva, O., Neronov, S., Plekhova, G. et al.; Shyshatskyi, A. (Ed.) (2024). *Information and control systems: modelling and optimizations*. Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC, 180. <https://doi.org/10.15587/978-617-8360-04-7>

DOI 10.15587/1729-4061.2025.327410

IDENTIFYING THE GRAPH-BASED TYPOLOGY FEATURES FOR MACHINE LEARNING MODELS IN FINANCIAL FRAUD DETECTION (p. 40–54)

Sabina Rakhmetulayeva

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4678-7964>

Aliya Kulbayeva

International IT University, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7245-8312>

Aigerim Bolshibayeva

International IT University, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1191-4249>

Vassiliy Serbin

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5807-3873>

This article investigates fraud detection in financial transaction networks using machine learning and graph-based typologies. The object of the study is financial transaction data, analyzed to improve the accuracy and efficiency of identifying fraudulent activities. The problem addressed is the limited generalizability and low recall of traditional fraud detection models in complex, real-world settings.

To address this, a hybrid framework was developed that integrates Random Forests, neural networks, and graph-based typology indicators. Seven laundering typologies were extracted from a transaction graph – fan-in, fan-out, scatter-gather, gather-scatter, cycle, bipartite, and stacked bipartite – and used as additional features for classification. SMOTE was applied to correct class imbalance during training.

Experimental results show that adding typology features significantly improves model performance. The best results were obtained

with Random Forest: 98.5% accuracy, 79.1% precision, 56.3% recall, and an F1-score of 65.7%. Adding typology-based flags raised recall by 9–11 percentage points compared to models without them. Graph patterns like fan-in and fan-out were detected in 3.5–5.1% of transactions, while more complex structures such as cycle and scatter-gather appeared less frequently but correlated more strongly with known fraud.

Unsupervised methods also showed promise: an autoencoder captured 60% of fraud cases among the top 2% anomalous transactions, while K-means identified 55% of fraud within flagged clusters. These methods proved useful for identifying emerging fraud types not yet labeled in training data.

The model is suitable for integration into financial security systems with minimal input requirements – account IDs, timestamps, and transaction amounts – alongside basic graph analytics. Its robustness across datasets suggests strong applicability across diverse financial institutions.

Keywords: financial fraud, transaction patterns, machine learning, graph analysis, typology detection, classification, anomaly detection.

References

- 2024 National Money Laundering Risk Assessment (2024). U.S. Department of the Treasury. Available at: <https://home.treasury.gov/system/files/136/2024-National-Money-Laundering-Risk-Assessment.pdf>
- Jarugula, S. (2025). The Evolution of Fraud Detection: A Comprehensive Analysis of AI-Powered Solutions in Financial Security. *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*, 11 (2), 919–926. <https://doi.org/10.32628/cseit25112430>
- Ali, A., Abd Razak, S., Othman, S. H., Eisa, T. A. E., Al-Dhaqm, A., Nasser, M. et al. (2022). Financial Fraud Detection Based on Machine Learning: A Systematic Literature Review. *Applied Sciences*, 12 (19), 9637. <https://doi.org/10.3390/app12199637>
- Baisholan, N., Dietz, J. E., Gnatyuk, S., Turdalyuly, M., Matson, E. T., Baisholanova, K. (2025). FraudX AI: An Interpretable Machine Learning Framework for Credit Card Fraud Detection on Imbalanced Datasets. *Computers*, 14 (4), 120. <https://doi.org/10.3390/computers14040120>
- Li, X., Liu, S., Li, Z., Han, X., Shi, C., Hooi, B. et al. (2020). FlowScope: Spotting Money Laundering Based on Graphs. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 34 (04), 4731–4738. <https://doi.org/10.1609/aaai.v34i04.5906>
- Blanuša, J., Cravero Baraja, M., Anghel, A., von Niederhäusern, L., Altman, E., Pozidis, H., Atasu, K. (2024). Graph Feature Preprocessor: Real-time Subgraph-based Feature Extraction for Financial Crime Detection. *Proceedings of the 5th ACM International Conference on AI in Finance*, 222–230. <https://doi.org/10.1145/3677052.3698674>
- Tümmeler, M., Quick, R. (2025). How to detect fraud in an audit: a systematic review of experimental literature. *Management Review Quarterly*. <https://doi.org/10.1007/s11301-024-00480-7>
- Dumitrescu, B., Baltoiu, A., Budulan, S. (2022). Anomaly Detection in Graphs of Bank Transactions for Anti Money Laundering Applications. *IEEE Access*, 10, 47699–47714. <https://doi.org/10.1109/access.2022.3170467>
- Karim, Md. R., Hermesen, F., Chala, S. A., De Perthuis, P., Mandal, A. (2024). Scalable Semi-Supervised Graph Learning Techniques for Anti Money Laundering. *IEEE Access*, 12, 50012–50029. <https://doi.org/10.1109/access.2024.3383784>
- Karim, R., Hermesen, F., Chala, S., de Perthuis, P., Mandal, A. (2023). Catch me if you can: Semi-supervised graph learning for spotting money laundering. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2302.11880>
- Islam, M. Z., Islam, M. S., Das, B. C., Reza, S. A., Bhowmik, P. K., Bishnu, K. K. et al. (2025). Machine Learning-Based Detection and Analysis of Suspicious Activities in Bitcoin Wallet Transactions in the USA. *Journal of Ecohumanism*, 4 (1). <https://doi.org/10.62754/joe.v4i1.6214>
- Rahman, A., Debnath, P., Ahmed, A., Dalim, H. M., Karmakar, M., Sumon, F. I., Khan, A. (2024). Machine learning and network analysis for financial crime detection: Mapping and identifying illicit transaction patterns in global black money transactions. *Gulf Journal of Advance Business Research*, 2 (6), 250–272. <https://doi.org/10.51594/gjabr.v2i6.49>
- Rahman, M. K., Dalim, H. M., Reza, S. A., Ahmed, A., Zee-shan, M. A. F., Jui, A. H., Nayeem, M. B. (2025). Assessing the Effectiveness of Machine Learning Models in Predicting Stock Price Movements During Energy Crisis: Insights from Shell's Market Dynamics. *Journal of Business and Management Studies*, 7 (1), 44–61. <https://doi.org/10.32996/jbms.2025.7.1.4>
- Rahouti, M., Xiong, K., Ghani, N. (2018). Bitcoin Concepts, Threats, and Machine-Learning Security Solutions. *IEEE Access*, 6, 67189–67205. <https://doi.org/10.1109/access.2018.2874539>
- Podgorelec, B., Turkanović, M., Karakatič, S. (2019). A Machine Learning-Based Method for Automated Blockchain Transaction Signing Including Personalized Anomaly Detection. *Sensors*, 20 (1), 147. <https://doi.org/10.3390/s20010147>
- Pham, H.-G. T., Pham, Q.-V., Pham, A. T., Nguyen, C. T. (2020). Joint Task Offloading and Resource Management in NOMA-Based MEC Systems: A Swarm Intelligence Approach. *IEEE Access*, 8, 190463–190474. <https://doi.org/10.1109/access.2020.3031614>
- Ali, A. H., Hagag, A. A. (2024). An enhanced AI-based model for financial fraud detection. *International Journal of ADVANCED AND APPLIED SCIENCES*, 11 (10), 114–121. <https://doi.org/10.21833/ijaas.2024.10.013>
- Pan, E. (2024). Machine Learning in Financial Transaction Fraud Detection and Prevention. *Transactions on Economics, Business and Management Research*, 5, 243–249. <https://doi.org/10.62051/16r3aa10>
- Zhang, Q., Wang, Y., Cheng, J., Yan, H., Shi, K. (2023). Improved filtering of interval type-2 fuzzy systems over Gilbert-Elliott channels. *Information Sciences*, 627, 132–146. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2023.01.053>
- Tarjo, T., Anggono, A., Sakti, E. (2021). Detecting Indications of Financial Statement Fraud: a Hexagon Fraud Theory Approach. *AK-RUAL: Jurnal Akuntansi*, 13 (1), 119–131. <https://doi.org/10.26740/jaj.v13n1.p119-131>
- Policy on Anti-Fraud, Corruption, Money Laundering and Terrorism Financing, and Domiciliation of BSTDB Counterparties. Available at: https://www.bstdb.org/Antifraud_policy.pdf
- Xia, Z., Saha, S. C. (2025). FinGraphFL: Financial Graph-Based Federated Learning for Enhanced Credit Card Fraud Detection. *Mathematics*, 13 (9), 1396. <https://doi.org/10.3390/math13091396>
- Duman, E., Ozelik, M. H. (2011). Detecting credit card fraud by genetic algorithm and scatter search. *Expert Systems with Applications*, 38 (10), 13057–13063. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.04.110>
- Ren, Y., Zhu, H., Zhang, J., Dai, P., Bo, L. (2021). EnsemFDet: An Ensemble Approach to Fraud Detection based on Bipartite Graph. 2021

- IEEE 37th International Conference on Data Engineering (ICDE). <https://doi.org/10.1109/icde51399.2021.00197>
25. Wójcik, F. (2024). An Analysis of Novel Money Laundering Data Using Heterogeneous Graph Isomorphism Networks. *FinCEN Files Case Study. Econometrics*, 28 (2), 32–49. <https://doi.org/10.15611/eada.2024.2.03>
 26. Cherif, A., Badhib, A., Ammar, H., Alshehri, S., Kalkatawi, M., Imine, A. (2023). Credit card fraud detection in the era of disruptive technologies: A systematic review. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 35 (1), 145–174. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2022.11.008>
 27. Charizanos, G., Demirhan, H., İcen, D. (2024). An online fuzzy fraud detection framework for credit card transactions. *Expert Systems with Applications*, 252, 124127. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124127>
 28. Xiang, S., Zhu, M., Cheng, D., Li, E., Zhao, R., Ouyang, Y., Chen, L., Zheng, Y. (2023). Semi-supervised Credit Card Fraud Detection via Attribute-Driven Graph Representation. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 37 (12), 14557–14565. <https://doi.org/10.1609/aaai.v37i12.26702>
 29. Bolshibayeva, A. K., Uskenbayeva, R. K., Kuandykov, A. A., Rakhmetulayeva, S. B., Astaubayeva, G. N. (2021). Development of Business Process Design Methods. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 99 (10), 2344–2358. Available at: <https://www.jatit.org/volumes/Vol99No10/14Vol99No10.pdf>
 30. Mohammed, H. N., Malami, N. S., Thomas, S., Aiyelabegan, F. A., Imam, F. A., Ginsau, H. H. (2022). Machine Learning Approach to Anti-Money Laundering: A Review. 2022 IEEE Nigeria 4th International Conference on Disruptive Technologies for Sustainable Development (NIGERCON), 1–5. <https://doi.org/10.1109/nigercon54645.2022.9803072>
 31. Soltani, R., Nguyen, U. T., Yang, Y., Faghani, M., Yagoub, A., An, A. (2016). A new algorithm for money laundering detection based on structural similarity. 2016 IEEE 7th Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON), 1–7. <https://doi.org/10.1109/uemcon.2016.7777919>
 32. Martínez-Sánchez, J. F., Cruz-García, S., Venegas-Martínez, F. (2020). Money laundering control in Mexico. *Journal of Money Laundering Control*, 23 (2), 427–439. <https://doi.org/10.1108/jmlc-10-2019-0083>
 33. Altman, E. (2019). IBM Transactions for Anti Money Laundering (AML). Available at: <https://www.kaggle.com/datasets/ealtman2019/ibm-transactions-for-anti-money-laundering-aml>
 34. Labanca, D., Primerano, L., Markland-Montgomery, M., Polino, M., Carminati, M., Zanero, S. (2022). Amaretto: An Active Learning Framework for Money Laundering Detection. *IEEE Access*, 10, 41720–41739. <https://doi.org/10.1109/access.2022.3167699>
 35. Rocha-Salazar, J.-J., Segovia-Vargas, M.-J., Camacho-Miñano, M. M. (2021). Money laundering and terrorism financing detection using neural networks and an abnormality indicator. *Expert Systems with Applications*, 169, 114470. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.114470>
 36. Gaviyau, W., Sibindi, A. B. (2023). Global Anti-Money Laundering and Combating Terrorism Financing Regulatory Framework: A Critique. *Journal of Risk and Financial Management*, 16(7), 313. <https://doi.org/10.3390/jrfm16070313>
 37. Alkhalili, M., Qutqut, M. H., Almasalha, F. (2021). Investigation of Applying Machine Learning for Watch-List Filtering in Anti-Money Laundering. *IEEE Access*, 9, 18481–18496. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3052313>
 38. Duisebekova, K. S., Kozhamzharova, D. K., Rakhmetulayeva, S. B., Umarov, F. A., Aitimov, M. Zh. (2020). Development of an information-analytical system for the analysis and monitoring of climatic and ecological changes in the environment. *Procedia Computer Science*, 170, 578–583. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.128>
 39. Yang, G., Liu, X., Li, B. (2023). Anti-money laundering supervision by intelligent algorithm. *Computers & Security*, 132, 103344. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2023.103344>
 40. Lokanan, M. E. (2023). Predicting money laundering sanctions using machine learning algorithms and artificial neural networks. *Applied Economics Letters*, 31 (12), 1112–1118. <https://doi.org/10.1080/13504851.2023.2176435>
 41. Rakhmetulayeva, S., Kulbayeva, A. (2022). Building Disease Prediction Model Using Machine Learning Algorithms on Electronic Health Records' Logs. *Proceedings of the 7th International Conference on Digital Technologies in Education, Science and Industry (DTESI 2022)*. Available at: <https://ceur-ws.org/Vol-3382/Paper19.pdf>
 42. Zhang, Y., Trubey, P. (2018). Machine Learning and Sampling Scheme: An Empirical Study of Money Laundering Detection. *Computational Economics*, 54 (3), 1043–1063. <https://doi.org/10.1007/s10614-018-9864-z>
 43. Chen, Z., Soliman, W. M., Nazir, A., Shorfuzzaman, M. (2021). Variational Autoencoders and Wasserstein Generative Adversarial Networks for Improving the Anti-Money Laundering Process. *IEEE Access*, 9, 83762–83785. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3086359>
 44. Domashova, J., Mikhailina, N. (2021). Usage of machine learning methods for early detection of money laundering schemes. *Procedia Computer Science*, 190, 184–192. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.06.033>
 45. Konyrbaev, N., Nikitenko, Y., Shtanko, V., Lakhno, V., Baishemirov, Z., Ibadulla, S. et al. (2024). Evaluation and optimization of the naive bayes algorithm for intrusion detection systems using the USB-IDS-1 dataset. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (2 (132)), 74–82. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.317471>
 46. Alov, R., Berdyshev, A., Akbarova, A., Baishemirov, Z. (2021). Development of an algorithm for calculating stable solutions of the Saint-Venant equation using an upwind implicit difference scheme. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (4 (112)), 47–56. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239148>
 47. Urmashiev, B., Buribayev, Z., Amirgaliyeva, Z., Ataniyazova, A., Zhasuzak, M., Turegali, A. (2021). Development of a weed detection system using machine learning and neural network algorithms. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (2 (114)), <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.246706>
 48. Bolshibayeva, A., Rakhmetulayeva, S., Ukibassov, B., Zhanabekov, Z. (2024). Advancing real-time echocardiographic diagnosis with a hybrid deep learning model. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (9 (132)), 60–70. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.314845>
 49. Kulbayeva, A. K., Rakhmetulayeva, S. B., Bolshibayeva, A. K., Yasar, A.-U.-H. (2024). Data Processing Methods for Financing Terrorism: The Role of Microsoft Power BI in Money Laundering Detection. *Procedia Computer Science*, 238, 528–535. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.06.056>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.332271

DEVELOPMENT OF A METHOD OF PSYCHOLOGICAL IMPACT ON TARGET AUDIENCES OF GAMERS USING MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES (p. 55–64)**Serhii Yevseiev**National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
Kharkiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1647-6444>**Stanislav Milevskyi**National Technical University “Kharkiv polytechnic institute”,
Kharkiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5087-7036>**Yurii Pribyliev**

National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1941-3561>**Yevhen Melenti**

National Academy of the Security Service of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2955-2469>**Andriy Nalivayko**

National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0675-9603>**Serhii Bazarnyi**

National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9545-1960>**Oleksandr Morozov**

National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1352-1783>**Iryna Kazak**National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv
Polytechnic Institute», Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9450-8312>**Alla Hrebeniuk**

National Academy of the Security Service of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8703-3432>**Oksana Ivashchenko**National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
Kharkiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3636-3914>

The object of research is the process of psychological influence on the target audience of gamers using information technologies. The problem of the lack of effective methods for assessing and correcting the psychophysiological state of players was solved. The proposed method of psychological influence on the target audience of gamers provides for the study of aspects of the use of interactive platforms in psychological operations and educational platforms based on gaming technologies. The features of the proposed method and the results obtained consist in taking into account the types of the target audience and influencing this audience by appropriate methods through the information content of a computer game. The method, which is based on the developed stochastic model, allows predicting the behavior of users of information technology – a computer game. The results of the study show that for the effective use of information technologies to increase the effect of psychological influence, it is necessary to adapt the information content to the peculiarities of perception of different types of gamers target audience. The proposed method provides in the dynamics of creating the prerequisites for the formation of a method of psychological

influence on target audiences of gamers using modern information technologies. The developed method should be implemented in the following conditions for the use of information technologies: organizational (orientation on the desired audience); technical (requirements for computer equipment, software, etc.); social (introduction to game scenarios of the distribution of the game environment and game characters to different categories of social groups). The predicted psychological effects when using a computer game have been formed: emotional impact; increased motivation; formation of critical thinking; technical recommendations.

Keywords: information technology, psychological impact, computer game, performance evaluation, target audience.

References

1. Shmatko, O., Herasymov, S., Lysetskyi, Y., Yevseiev, S., Sievierinov, O., Voitko, T. et al. (2023). Development of the automated decision-making system synthesis method in the management of information security channels. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (9 (126)), 39–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.293511>
2. Yevseiev, S., Hryshchuk, R., Molodetska, K., Nazarkevych, M., Hrytskyk, V., Milov, O. et al.; Yevseiev, S., Hryshchuk, R., Molodetska, K., Nazarkevych, M. (Eds.) (2022). Modeling of security systems for critical infrastructure facilities. Kharkiv: PC TECHNOLOGY CENTER, 196. <https://doi.org/10.15587/978-617-7319-57-2>
3. Herasymov, S., Tkachov, A., Bazarnyi, S. (2024). Complex method of determining the location of social network agents in the interests of information operations. *Advanced Information Systems*, 8 (1), 31–36. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2024.1.04>
4. Sokulska, N., Huzyk, N., Kmin, V. (2023). Interactive educational content of a relevant educational environment in andragogy. *Academic Notes Series Pedagogical Science*, 1 (209). <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2022-1-209-383-389>
5. Seong, W., Hong, J. S., Kim, S., Kim, S. M., Han, D. H. (2019). Personality and Psychological Factors of Problematic Internet Gamers Seeking Hospital Treatment. *Frontiers in Psychiatry*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2019.00583>
6. Herasymov, S., Yevseiev, S., Milevskyi, S., Balitskyi, N., Zaika, V., Povaliaiev, S. et al. (2024). Development of a method for automatic control of monitoring means for information protection objects. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (9 (132)), 25–38. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.319058>
7. Li, J. (2023). Research on the effects of gaming on the brain. *Theoretical and Natural Science*, 6 (1), 247–251. <https://doi.org/10.54254/2753-8818/6/20230242>
8. Zinovieva, T. (2024). Video Games As Deep Media: Challenges During The Russian-Ukrainian War. *Obraz*, 44 (1), 45–57. [https://doi.org/10.21272/obraz.2024.1\(44\)-45-57](https://doi.org/10.21272/obraz.2024.1(44)-45-57)
9. Zamani, E., Chashmi, M., Hedayati, N. (2010). Effect of Addiction to Computer Games on Physical and Mental Health of Female and Male Students of Guidance School in City of Isfahan. *Addiction & Health*, 1 (2). Available at: https://ahj.kmu.ac.ir/article_84523.html
10. Oscarido, J., Siswanto, Z. A., Maleke, D. A., Gunawan, A. A. S. (2023). The impact of competitive FPS video games on human's decision-making skills. *Procedia Computer Science*, 216, 539–546. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.167>
11. Gackenbach, J. I. (2009). Video Game Play and Consciousness Development: A Replication and Extension. *International Journal of Dream Research*, 2 (1), 3–11. <https://doi.org/10.11588/ijodr.2009.1.115>

12. Gaming Statistics. Academy of Animated Art. Available at: <https://academyofanimatedart.com/gaming-statistics/>
13. De Rosa, O., D'Onofrio, P., Conte, F., De Luca, P., Schiavone, C., Lustrò, A. et al. (2025). The impact of an action commercial video game on adult non-gamers psychological well-being, cognitive functioning, and sleep. *Sleep Medicine*, 129, 274–282. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2025.03.002>
14. Monley, C. M., Liese, B. S., Oberleitner, L. M. (2023). Gamers' and non-gamers' perspectives on the development of problematic video game play. *Current Psychology*, 43 (1), 552–561. <https://doi.org/10.1007/s12144-023-04278-w>
15. Bowditch, L., Chapman, J., Signal, T., Naweed, A. (2025). Gamers in Real Life: Internet Gamer Typologies and Their Association With Problematic Gaming and Health Outcomes. *Human Behavior and Emerging Technologies*, 2025 (1). <https://doi.org/10.1155/hbe2/2368683>
16. Ngah, S., Rahi, S., Long, F., Gabarre, C., Rashid, A., Ngah, A. H. (2024). Future behavioural of console gamers and mobile gamers: are they differ? *Quality & Quantity*, 58 (6), 5531–5557. <https://doi.org/10.1007/s11135-024-01895-w>
17. Videnovik, M., Vold, T., Kionig, L., Madevska Bogdanova, A., Trajkovik, V. (2023). Game-based learning in computer science education: a scoping literature review. *International Journal of STEM Education*, 10 (1). <https://doi.org/10.1186/s40594-023-00447-2>
18. Million copies, zero Russian: S.T.A.L.K.E.R. 2's Ukrainian victory. Available at: <https://euromaidanpress.com/2024/11/25/s-t-a-l-k-e-r-2-inside-the-making-of-ukraines-most-ambitious-video-game/>
19. Voitko, O., Solonnikov, V., Polyakova, E. (2022). SIR-model of distribution and taking into account of the results of the negative influence of information channels on public opinion. *Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence*, 43 (1), 115–120. <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2022-43-1-115-120>
20. STALKER 2. GSC Game World. Available at: <https://www.stalker2.com/uk>
21. Pro vnesennia zmin do Kryminalnoho kodeksu Ukrainy. Zakon Ukrainy No. 1183-VII. Verkhovna Rada Ukrainy. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1183-18#Text>
22. Allied Joint Doctrine for Information Operations (AJP-10.1) (2023). NATO. Available at: <https://www.gov.uk/government/publications/allied-joint-doctrine-for-information-operations-ajp-101>
23. Shmatko, O., Herasymov, S., Milevskiy, S., Balitskiy, N., Pohasii, S., Aleksieiev, M. et al. (2025). Development of a method for assessing the efficiency of technical systems' computer dynamic simulators. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (134)), 50–61. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.327558>
24. Kyrychok, R., Laptiev, O., Lisnevskiy, R., Kozlovskiy, V., Klobukov, V. (2022). Development of a method for checking vulnerabilities of a corporate network using Bernstein transformations. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (9 (115)), 93–101. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253530>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.331044

IDENTIFYING THE EFFICIENCY OF APPLYING OF FINITE AUTOMATA IN ENCRYPTION AND DECRYPTION (p. 65–78)

Zhanat Saukhanova

L.N. Gumilyov Eurasian National University,
Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9812-7736>

Altynbek Sharipbay

L.N. Gumilyov Eurasian National University,
Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5334-1253>

Gulmira Shakhmetova

L.N. Gumilyov Eurasian National University,
Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2067-7444>

Alibek Barlybayev

L.N. Gumilyov Eurasian National University,
Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0188-5336>

Sayat Raykul

L.N. Gumilyov Eurasian National University,
Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8222-4088>

Altay Khassenov

L.N. Gumilyov Eurasian National University,
Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7552-9555>

The contemporary cryptographic field is marked by efforts to enhance traditional methods through the integration of novel mathematical concepts. This fusion seeks to address the shortcomings of classical cryptography, tackle emerging security challenges, and devise more sophisticated data protection systems. Among these innovations is the application of finite automata, or CryptoAutomata, used as encoders and decoders. The object of this research is the use of finite automata, specifically CryptoAutomata, in cryptographic systems. The study addresses the problem of vulnerabilities in classical cryptographic methods, which include susceptibility to emerging cryptanalytic attacks and inefficiencies in computational overhead.

The essence of the obtained results lies in demonstrating the practical implementation and cryptographic advantages of reversible finite automata, including surjective and Mealy automata, integrated into encryption systems. Due to the inherent properties of these automata, such as reversibility, composability, and computational efficiency, the authors were able to increase the security of encryption, significantly complicating cryptanalysis attempts. These results are primarily explained by the compositional approach, which involves combining multiple finite automata to form complex encryption structures. Rigorous statistical evaluations were carried out, including NPCR and UACI, which yielded NPCR values ranging between 99.56% to 99.61% and UACI values around 33%, affirming strong resistance to differential attacks. Additionally, noise resilience was confirmed through PSNR evaluations, achieving values above 35 dB even under significant noise conditions, thereby validating robustness in practical scenarios. Furthermore, the cryptographic strength was substantiated by NIST statistical randomness tests.

Keywords: finite automata, mealy automata, cryptography with finite automata, automata composition, statistical cryptanalysis.

References

1. Al Busafi, S., Kumar, B. (2020). Review and Analysis of Cryptography Techniques. 2020 9th International Conference System Modeling and Advancement in Research Trends (SMART), 323–327. <https://doi.org/10.1109/smart50582.2020.9336792>
2. Salami, Y., Khajevand, V., Zeinali, E. (2023). Cryptographic algorithms: a review of the literature, weaknesses and open challenges.

- Journal of Computer & Robotics, 16 (2). <https://doi.org/10.22094/JCR.2023.1983496.1298>
3. Sharipbay, A., Saukhanova, Z., Shakhmetova, G., Barlybayev, A. (2023). Development of Reliable and Effective Methods of Cryptographic Protection of Information Based on the Finite Automata Theory. *The Eurasia Proceedings of Science Technology Engineering and Mathematics*, 26, 19–25. <https://doi.org/10.55549/epstem.1409285>
 4. Kohavi, Z., Jha, N. K. (2009). *Switching and Finite Automata Theory*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511816239>
 5. Lotfi, Z., Khalifi, H., Ouardi, F. (2023). Efficient Algebraic Method for Testing the Invertibility of Finite State Machines. *Computation*, 11 (7), 125. <https://doi.org/10.3390/computation11070125>
 6. Tao, R., Chen, Sh. (1985). A finite automaton public key cryptosystem and digital signatures. *Chinese Journal of Computers*, 8 (6), 401–409.
 7. Abubaker, S., Wu, K. (2013). DAFA - A Lightweight DES Augmented Finite Automaton Cryptosystem. *Security and Privacy in Communication Networks*, 1–18. https://doi.org/10.1007/978-3-642-36883-7_1
 8. Kodada, B. (2022). FSAaCIT: Finite State Automata based One-Key Cryptosystem and Chunk-based Indexing Technique for Secure Data De-duplication in Cloud Computing. <https://doi.org/10.36227/techrxiv.20443653.v1>
 9. Salas Pena, P. I., Ernesto Gonzalez Torres, R. (2016). Authenticated Encryption based on finite automata cryptosystems. 2016 13th International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control (CCE), 1–6. <https://doi.org/10.1109/iceee.2016.7751254>
 10. Gysin, M. (1996). A one-key cryptosystem based on a finite nonlinear automaton. *Cryptography: Policy and Algorithms*, 165–173. <https://doi.org/10.1007/bfb0032356>
 11. Lakshmi, S. (2012). On finite state machines and recursive functions – applications to cryptosystems. Jawaharlal Nehru Technological University.
 12. Meskanen, T. (2001). On finite automaton public key cryptosystems. TUCS Technical Report.
 13. Tao, R., Chen, S., Chen, X. (1997). FAPKC3: A new finite automaton public key cryptosystem. *Journal of Computer Science and Technology*, 12 (4), 289–305. <https://doi.org/10.1007/bf02943149>
 14. Tao, R., Chen, S. (1999). The generalization of public key cryptosystem FAPKC4. *Chinese Science Bulletin*, 44 (9), 784–790. <https://doi.org/10.1007/bf02885019>
 15. Kodada, B. B., D'Mello, D. A. (2021). Symmetric Key Cryptosystem based on Sequential State Machine. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1187 (1), 012026. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1187/1/012026>
 16. Shakhmetova, G., Barlybayev, A., Saukhanova, Z., Sharipbay, A., Raykul, S., Khassenov, A. (2024). Enhancing Visual Data Security: A Novel FSM-Based Image Encryption and Decryption Methodology. *Applied Sciences*, 14 (11), 4341. <https://doi.org/10.3390/app14114341>
 17. Zhang, M., Dong, S., Kong, H., Liu, X., Guan, H. (2016). Modeling and Simulation Strategies of Cryptographic Protocols Based on Finite State Machine. *Information Technology and Intelligent Transportation Systems*, 541–551. https://doi.org/10.1007/978-3-319-38789-5_62
 18. Attari, S., Shahmirzadi, A. R., Salmasizadeh, M., Gholampour, I. (2017). Finite State Machine Based Countermeasure for Cryptographic Algorithms. 2017 14th International ISC (Iranian Society of Cryptology) Conference on Information Security and Cryptology (ISCISC), 58–63. <https://doi.org/10.1109/iscisc.2017.8488336>
 19. Papanastasiou, P., Ottaviani, C., Pirandola, S. (2017). Finite-size analysis of measurement-device-independent quantum cryptography with continuous variables. *Physical Review A*, 96 (4). <https://doi.org/10.1103/physreva.96.042332>
 20. de la Cruz Jiménez, R. A. (2019). Generation of 8-Bit S-Boxes Having Almost Optimal Cryptographic Properties Using Smaller 4-Bit S-Boxes and Finite Field Multiplication. *Progress in Cryptology – LATIN-CRYPT 2017*, 191–206. https://doi.org/10.1007/978-3-030-25283-0_11
 21. Waseem, H. M., Khan, M. (2018). Information Confidentiality Using Quantum Spinning, Rotation and Finite State Machine. *International Journal of Theoretical Physics*, 57 (11), 3584–3594. <https://doi.org/10.1007/s10773-018-3872-6>
 22. Agrawal, S., Ishai, Y., Kushilevitz, E., Narayanan, V., Prabhakaran, M., Prabhakaran, V., Rosen, A. (2020). Cryptography from One-Way Communication: On Completeness of Finite Channels. *Advances in Cryptology – ASIACRYPT 2020*, 653–685. https://doi.org/10.1007/978-3-030-64840-4_22
 23. Cintas-Canto, A., Kermani, M. M., Azarderakhsh, R. (2023). Reliable Architectures for Finite Field Multipliers Using Cyclic Codes on FPGA Utilized in Classic and Post-Quantum Cryptography. *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, 31 (1), 157–161. <https://doi.org/10.1109/tvlsi.2022.3224357>
 24. Roy, A., Steiner, M. J. (2025). Generalized Triangular Dynamical System: An Algebraic System for Constructing Cryptographic Permutations over Finite Fields. *Selected Areas in Cryptography – SAC 2024*, 139–165. https://doi.org/10.1007/978-3-031-82841-6_6
 25. Lavanya, M., Sundar, K., Saravanan, S. (2025). Finite Field-Based Three-Tier Cryptography Algorithm to Secure the Images. *Defence Science Journal*, 75 (1).
 26. Sharipbay, A. (2016). Automata models in cryptography. *KazNU Bulletin. Mathematics, Mechanics, Computer Science Series*, 3 (1 (90)), 94–104.
 27. Bogachenko, N. (2007). Application of automata-theoretic models in cryptography. *Mathematical Structures and Modeling*, 1 (17), 112–120.
 28. Olson, R. (1970). On the invertibility of finite state machines. No. TR-EE-703.
 29. Tao, R. (2009). *Finite Automata and Application to Cryptography*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-78257-5>
 30. Shakhmetova, G., Saukhanova, Z., Udzir, N. I., Sharipbay, A., Saukhanov, N. (2021). Application of Pseudo-Memory Finite Automata for Information Encryption. *Proceedings of the 2nd International Workshop on Intelligent Information Technologies & Systems of Information Security with CEUR-WS*.
 31. Noura, H. N., Chehab, A., Couturier, R. (2020). Overview of Efficient Symmetric Cryptography: Dynamic vs Static Approaches. 2020 8th International Symposium on Digital Forensics and Security (ISDFS), 1–6. <https://doi.org/10.1109/isdfs49300.2020.9116441>
 32. Shakhmetova, G., Saukhanova, Z., Sharipbay, A., Ulyukova G. (2020). Using Reversible Finite-State Machines In Asymmetrical Cryptosystems. *Journal of Almaty University Of Power Engineering And Communications*, 1, 118.
 33. Abed, Q. K., Al-Jawher, W. A. M. (2024). Enhanced Hyperchaotic Image Encryption with CAW Transform and Sea-Lion Optimizer. *Journal of Cyber Security and Mobility*, 13 (5), 1207–1238. <https://doi.org/10.13052/jcsm2245-1439.13517>
 34. Setiadi, D. R. I. M., Rijati, N. (2023). An Image Encryption Scheme Combining 2D Cascaded Logistic Map and Permutation-Substitution

Operations. Computation, 11 (9), 178. <https://doi.org/10.3390/computation11090178>

35. Abusham, E., Ibrahim, B., Zia, K., Rehman, M. (2023). Facial Image Encryption for Secure Face Recognition System. *Electronics*, 12 (3), 774. <https://doi.org/10.3390/electronics12030774>
36. Khan, S., Peng, H. (2024). A secure and adaptive block-based image encryption: a novel high-speed approach. *Nonlinear Dynamics*, 112 (18), 16445–16473. <https://doi.org/10.1007/s11071-024-09870-8>
37. Pareschi, F., Rovatti, R., Setti, G. (2012). On Statistical Tests for Randomness Included in the NIST SP800-22 Test Suite and Based on the Binomial Distribution. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 7 (2), 491–505. <https://doi.org/10.1109/tifs.2012.2185227>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.330905

DEVISING A METHOD TO FORM REFERENCE IMAGES TO PROVIDE HIGH-PRECISION NAVIGATION FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES WHEN CHANGING GEOMETRIC VIEWING CONDITIONS (p. 79–92)

Alexander Sotnikov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7303-0401>

Ruslan Sydorenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3097-6747>

Serhii Zakirov

Research Institute of Military Intelligence, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1241-6180>

Serhii Mykus

National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7103-4166>

Ihor Vlasov

National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3680-1347>

Oleksandr Shkvarskyi

Kamianets-Podilskyi Ivan Ohienko National University,
Kamianets-Podilskyi, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6964-5497>

Yuriy Samsonov

National Academy of the National Guard of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5973-7988>

Andrii Petik

National Academy of the National Guard of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5236-8822>

Andrii Nechaus

Kharkiv National Automobile and Highway University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8833-0802>

Oleh Rikunov

National Academy of the National Guard of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7581-7531>

The object of this study is the process of forming a minimally sufficient set of reference images for use in correlation-extreme

navigation systems when changing the navigation parameters of unmanned aerial vehicles. The paper reports the results related to solving the task to form a set of reference images taking into account changes in the navigation parameters of high-speed unmanned aerial vehicles and their impact on the information features of images. The effect of changing the viewing angles and altitude on the formation of segmented images by energy characteristics has been studied. The discrete steps for navigation parameters were established, at which the correlation between image fragments is maintained at the level of 0.9. These values are from 90 to 120 meters in height and from 15° to 25° in angular parameters. The effect of the structure of segmented images on the selection of the reference object has been studied. It is shown that the feature of the selection of the reference object in the segmented image is the value of the fractal dimension 2.998...2.999.

The study was conducted in the MATLAB software environment using the source image selected from Google Earth Pro. The application of the selected sequence of constructing fragments of reference images has made it possible to identify objects that have the best characteristics in terms of signal-to-noise ratio and structure with increasing discreteness of navigation parameters. The method differs from known ones in using the image structure as information features along with the brightness and contrast of objects. This would reduce the number of fragments of reference images while maintaining the accuracy indicator. The results could be implemented in secondary processing systems of correlation-extreme navigation systems used on high-speed unmanned aerial vehicles.

Keywords: reference images, navigation parameters, discrete in viewing angles and altitudes, information features, decision function.

References

1. Kharchenko, V., Mukhina, M. (2014). Correlation-extreme visual navigation of unmanned aircraft systems based on speed-up robust features. *Aviation*, 18 (2), 80–85. <https://doi.org/10.3846/16487788.2014.926645>
2. Gao, H., Yu, Y., Huang, X., Song, L., Li, L., Li, L., Zhang, L. (2023). Enhancing the Localization Accuracy of UAV Images under GNSS Denial Conditions. *Sensors*, 23 (24), 9751. <https://doi.org/10.3390/s23249751>
3. Yol, A., Delabarre, B., Dame, A., Dartois, J.-E., Marchand, E. (2014). Vision-based absolute localization for unmanned aerial vehicles. 2014 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 3429–3434. <https://doi.org/10.1109/iros.2014.6943040>
4. Shan, M., Wang, F., Lin, F., Gao, Z., Tang, Y. Z., Chen, B. M. (2015). Google map aided visual navigation for UAVs in GPS-denied environment. 2015 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), 114–119. <https://doi.org/10.1109/robio.2015.7418753>
5. Dalal, N., Triggs, B. (2005). Histograms of Oriented Gradients for Human Detection. 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05), 1, 886–893. <https://doi.org/10.1109/cvpr.2005.177>
6. Román, A., Heredia, S., Windle, A. E., Tovar-Sánchez, A., Navarro, G. (2024). Enhancing Georeferencing and Mosaicking Techniques over Water Surfaces with High-Resolution Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery. *Remote Sensing*, 16 (2), 290. <https://doi.org/10.3390/rs16020290>
7. Zhao, X., Li, H., Wang, P., Jing, L. (2020). An Image Registration Method for Multisource High-Resolution Remote Sensing Images for Earthquake Disaster Assessment. *Sensors*, 20 (8), 2286. <https://doi.org/10.3390/s20082286>

8. Tong, P., Yang, X., Yang, Y., Liu, W., Wu, P. (2023). Multi-UAV Collaborative Absolute Vision Positioning and Navigation: A Survey and Discussion. *Drones*, 7 (4), 261. <https://doi.org/10.3390/drones7040261>
9. Ali, B., Sadekov, R. N., Tsodokova, V. V. (2022). A Review of Navigation Algorithms for Unmanned Aerial Vehicles Based on Computer Vision Systems. *Gyroscopy and Navigation*, 13 (4), 241–252. <https://doi.org/10.1134/s2075108722040022>
10. Kan, E. M., Lim, M. H., Ong, Y. S., Tan, A. H., Yeo, S. P. (2012). Extreme learning machine terrain-based navigation for unmanned aerial vehicles. *Neural Computing and Applications*, 22 (3-4), 469–477. <https://doi.org/10.1007/s00521-012-0866-9>
11. Yeromina, N., Tarshyn, V., Petrov, S., Samoylenko, V., Tabakova, I., Dmitriyev, O. et al. (2021). Method of reference image selection to provide high-speed aircraft navigation under conditions of rapid change of flight trajectory. *International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration*, 8 (85). <https://doi.org/10.19101/ijatee.2021.874814>
12. Solonar, A. S., Tsuprik, S. V., Khmarskiy, P. A. (2023). Influence of the reference image formation method on the efficiency of the onboard correlation-extreme tracking system for tracking ground objects. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, Physical-Technical Series*, 68 (2), 167–176. <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2023-68-2-167-176>
13. Zhang, X., He, Z., Ma, Z., Wang, Z., Wang, L. (2021). LLFE: A Novel Learning Local Features Extraction for UAV Navigation Based on Infrared Aerial Image and Satellite Reference Image Matching. *Remote Sensing*, 13 (22), 4618. <https://doi.org/10.3390/rs13224618>
14. Abdollahi, A., Pradhan, B. (2021). Integrated technique of segmentation and classification methods with connected components analysis for road extraction from orthophoto images. *Expert Systems with Applications*, 176, 114908. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.114908>
15. Yeromina, N., Udovovenko, S., Tiurina, V., Boichenko, O., Breus, P., Onishchenko, Y. et al. (2023). Segmentation of Images Used in Unmanned Aerial Vehicles Navigation Systems. *Problems of the Regional Energetics*, 4 (60), 30–42. <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2023.4-60.03>
16. Nuradili, P., Zhou, G., Zhou, J., Wang, Z., Meng, Y., Tang, W., Melgani, F. (2024). Semantic segmentation for UAV low-light scenes based on deep learning and thermal infrared image features. *International Journal of Remote Sensing*, 45 (12), 4160–4177. <https://doi.org/10.1080/01431161.2024.2357842>
17. Xi, W., Shi, Z., Li, D. (2017). Comparisons of feature extraction algorithm based on unmanned aerial vehicle image. *Open Physics*, 15 (1), 472–478. <https://doi.org/10.1515/phys-2017-0053>
18. Li, X., Li, Y., Ai, J., Shu, Z., Xia, J., Xia, Y. (2023). Semantic segmentation of UAV remote sensing images based on edge feature fusing and multi-level upsampling integrated with Deeplabv3+. *PLOS ONE*, 18 (1), e0279097. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0279097>
19. Spasev, V., Dimitrovski, I., Chorbev, I., Kitanovski, I. (2025). Semantic Segmentation of Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing Images Using SegFormer. *Intelligent Systems and Pattern Recognition*, 108–122. https://doi.org/10.1007/978-3-031-82156-1_9
20. Sahragard, E., Farsi, H., Mohamadzadeh, S. (2024). Semantic Segmentation of Aerial Imagery: A Novel Approach Leveraging Hierarchical Multi-scale Features and Channel-based Attention for Drone Applications. *International Journal of Engineering*, 37 (5), 1022–1035. <https://doi.org/10.5829/ije.2024.37.05b.18>
21. Lu, Z., Qi, L., Zhang, H., Wan, J., Zhou, J. (2022). Image Segmentation of UAV Fruit Tree Canopy in a Natural Illumination Environment. *Agriculture*, 12 (7), 1039. <https://doi.org/10.3390/agriculture12071039>
22. Wang, Z., Zhao, D., Cao, Y. (2022). Image Quality Enhancement with Applications to Unmanned Aerial Vehicle Obstacle Detection. *Aerospace*, 9 (12), 829. <https://doi.org/10.3390/aerospace9120829>
23. Simantiris, G., Panagiotakis, C. (2024). Unsupervised Color-Based Flood Segmentation in UAV Imagery. *Remote Sensing*, 16 (12), 2126. <https://doi.org/10.3390/rs16122126>
24. Li, J., Wu, Y., Zhang, H., Wang, H. (2023). A Novel Unsupervised Segmentation Method of Canopy Images from UAV Based on Hybrid Attention Mechanism. *Electronics*, 12 (22), 4682. <https://doi.org/10.3390/electronics12224682>
25. Zhang, X., Du, B., Wu, Z., Wan, T. (2022). LAANet: lightweight attention-guided asymmetric network for real-time semantic segmentation. *Neural Computing and Applications*, 34 (5), 3573–3587. <https://doi.org/10.1007/s00521-022-06932-z>
26. Song, Y., Shang, C., Zhao, J. (2023). LBCNet: A lightweight bilateral cascaded feature fusion network for real-time semantic segmentation. *The Journal of Supercomputing*, 80 (6), 7293–7315. <https://doi.org/10.1007/s11227-023-05740-z>
27. Sotnikov, A., Tiurina, V., Petrov, K., Lukyanova, V., Lanovyy, O., Onishchenko, Y. et al. (2024). Using the set of informative features of a binding object to construct a decision function by the system of technical vision when localizing mobile robots. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (9 (129)), 60–69. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.303989>
28. Sotnikov, O., Tymochko, O., Bondarchuk, S., Dzhusa, L., Rudenko, V., Mandryk, Ya. et al. (2023). Generating a Set of Reference Images for Reliable Condition Monitoring of Critical Infrastructure using Mobile Robots. *Problems of the Regional Energetics*, 2 (58), 41–51. <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2023.2-58.04>
29. Sotnikov, O., Sivak, V., Pavlov, Ya., Hashenko, S., Borysenko, T., Torianyk, D. (2024). Selection of the Binding Object on the Current Image Formed by the Technical Vision System Using Structural and Geometric Features. *Problems of the Regional Energetics*, 3 (63), 92–103. <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2024.3-63.08>
30. Pan, Z., Xu, J., Guo, Y., Hu, Y., Wang, G. (2020). Deep Learning Segmentation and Classification for Urban Village Using a Worldview Satellite Image Based on U-Net. *Remote Sensing*, 12 (10), 1574. <https://doi.org/10.3390/rs12101574>
31. Porev, V. A. (2015). *Televiziyni informatsiyno-vymiriuvalni systemy*. Kyiv, 218.
32. Balytska, N., Prylypko, O., Shostachuk, A., Hlembotska, L., Melnyk, O. (2023). Analysis of correlations between the fractal dimension and parameters of milled surface roughness. *Technical Engineering*, 1 (91), 26–33. [https://doi.org/10.26642/ten-2023-1\(91\)-26-33](https://doi.org/10.26642/ten-2023-1(91)-26-33)
33. Berezskij, O. N., Berezskaja, K. M. (2015). Quantified Estimation of Image Segmentation Quality Based on Metrics. *Control systems and machines*, 6, 59–65. Available at: <http://jnas.nbuv.gov.ua/article/UJRN-0000515848>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.331877

DEVISING A METHOD OF DISCRETE SEARCH FOR A PLANE THAT CRASHED BY USING THE BLACKWELL–BLACK–KADAN RATIO (p. 93–100)

Hennadii Khudov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3311-2848>

Illia Hridasov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5689-0311>

Igor Ruban

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4738-3286>

Oleksandr Makoveichuk

Higher Education Institution «Academician Yuriy Bugay
International Scientific and Technical University», Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4425-016X>

Ihor Butko

Higher Education Institution «Academician Yuriy Bugay
International Scientific and Technical University», Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2859-0351>

Vladyslav Khudov

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9863-4743>

Iurii Ieliso

Research Institute of Military Intelligence, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4441-0721>

Volodymyr Maliuha

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6227-1269>

Mykola Yaloveha

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7720-3111>

Rostyslav Khudov

V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6209-209X>

The object of this study is the process of searching for a plane that crashed by using search tools. The main hypothesis of the study assumes that the use of a uniformly optimal search strategy in a discrete search zone taking into account the Blackwell-Black-Kadan relation could minimize the average time for detecting a plane that crashed. An optimal Bayesian rule has been formulated, which involves determining the maximum value of the likelihood ratio in the current discrete search sector and comparing it with the threshold. A class of uniformly optimal search strategies has been introduced. A method of discrete search for a plane that crashed has been improved, according to which, unlike in the known analogs:

- the a priori probability of finding the search object in the search sector is taken into account;
- the probability that the search object will be detected when viewing the search sector is calculated;
- the Blackwell-Black-Kadan relations are determined;
- the obtained Blackwell-Black-Kadan values are ranked, and the sequence of the search sectors is examined in accordance with the obtained ranking of the Blackwell-Black-Kadan ratio values.

The average time to detect the search object was estimated. It has been established that when optimizing the search for a plane that crashed, the average search time for the search object is reduced by 12%.

The limitation of the study is a simplified representation of the search area, which is given by a regular discrete grid without taking into account complex terrain or prohibited areas. In addition, external

factors such as weather conditions, wind, etc., which may affect the speed and route of the search vehicle, are not taken into account.

The disadvantage of the improved method is its application only for the case of a discrete structure search area.

Keywords: Blackwell-Black-Kadan relation, discrete search, search object, search and rescue operation, uniformly optimal search strategy.

References

1. Flightradar24 registered a record number of planes in the air (2023). Mezha. Available at: <https://mezha.media/en/2023/05/29/flightradar24-recorded-a-record-number-of-planes-in-the-air/>
2. Katastrofy viiskovykh litakiv u nezalezhnyi Ukraini: khronika naibilshykh vtrat (2020). Novynarnia. Available at: <https://novynarnia.com/2020/09/30/vijsko-aviakatastrofy/>
3. List Of Aircraft Losses During The Russian Invasion Of Ukraine (2022). Oryx. Available at: <https://www.oryxspioenkop.com/2022/03/list-of-aircraft-losses-during-2022.html>
4. Echols, C. (2022). Recent string of deadly military crashes is no accident. Available at: <https://responsiblestatecraft.org/2022/06/10/recent-string-of-deadly-military-crashes-is-no-accident/>
5. Parashchak, O., Kramer, N. (2025). Deadliest Aircraft Crashes and Worst Aviation Accident Statistics (1925-2025). Beinsure. Available at: <https://beinsure.com/aircraft-crashes/>
6. Factual information safety investigation for MH370. Available at: <https://www.mot.gov.my/my/Laporan%20MH%20370/Factual%20Information%20Safety%20Investigation%20For%20MH370.pdf>
7. French judges drop charges against Air France over 2009 Rio-Paris crash. France 24. Available at: <https://www.france24.com/en/20190905-france-judges-charge-air-france-2009-A330-rio-paris-crash-af447-airbus>
8. Barabash, O. V., Dakhno, N. B., Shevchenko, H. V., Majsak, T. V. (2017). Dynamic models of decision support systems for controlling UAV by two-step variational-gradient method. 2017 IEEE 4th International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD), 108–111. <https://doi.org/10.1109/apuavd.2017.8308787>
9. Barabash, O., Kyrianov, A. (2023). Development of control laws of unmanned aerial vehicles for performing group flight at the straight-line horizontal flight stage. Advanced Information Systems, 7 (4), 13–20. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2023.4.02>
10. Bany Abdelnabi, A. A., Rabadi, G. (2024). Human Detection From Unmanned Aerial Vehicles' Images for Search and Rescue Missions: A State-of-the-Art Review. IEEE Access, 12, 152009–152035. <https://doi.org/10.1109/access.2024.3479988>
11. Quero, C. O., Martinez-Carranza, J. (2025). Unmanned aerial systems in search and rescue: A global perspective on current challenges and future applications. International Journal of Disaster Risk Reduction, 118, 105199. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2025.105199>
12. Sambolek, S., Ivasic-Kos, M. (2021). Automatic Person Detection in Search and Rescue Operations Using Deep CNN Detectors. IEEE Access, 9, 37905–37922. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3063681>
13. Yang, L., Zhang, X., Li, Z., Li, L., Shi, Y. (2025). A LODBO algorithm for multi-UAV search and rescue path planning in disaster areas. Chinese Journal of Aeronautics, 38 (2), 103301. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2024.11.011>
14. Guo, Y., Song, Y., Li, J., Ou, J., Xing, L., Zhang, Y. (2024). A Tabu-Based Bees Algorithm for Unmanned Aerial Vehicles in Maritime Search

and Rescue Path Planning. Intelligent Engineering Optimisation with the Bees Algorithm, 353–365. https://doi.org/10.1007/978-3-031-64936-3_18

15. Goncalves, L., Damas, B. (2022). Automatic detection of rescue targets in maritime search and rescue missions using UAVs. 2022 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 1638–1643. <https://doi.org/10.1109/icuas4217.2022.9836137>
16. Zhang, H., Sun, J., Yang, B., Shi, Y., Li, Z. (2020). Optimal search and rescue route design using an improved ant colony optimization. Information Technology And Control, 49 (3), 438–447. <https://doi.org/10.5755/j01.itc.49.3.25295>
17. Cho, S. W., Park, H. J., Lee, H., Shim, D. H., Kim, S.-Y. (2021). Coverage path planning for multiple unmanned aerial vehicles in maritime search and rescue operations. Computers & Industrial Engineering, 161, 107612. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107612>
18. Dinnbier, N. M., Thueux, Y., Savvaris, A., Tsourdos, A. (2017). Target detection using Gaussian mixture models and fourier transforms for UAV maritime search and rescue. 2017 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 1418–1424. <https://doi.org/10.1109/icuas.2017.7991312>
19. Rejeb, A., Rejeb, K., Simske, S., Treiblmaier, H. (2021). Humanitarian Drones: A Review and Research Agenda. Internet of Things, 16, 100434. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2021.100434>
20. Laghari, A. A., Jumani, A. K., Laghari, R. A., Nawaz, H. (2023). Unmanned aerial vehicles: A review. Cognitive Robotics, 3, 8–22. <https://doi.org/10.1016/j.cogr.2022.12.004>
21. Khudov, H. (2020). The Bayes Rule of Decision Making in Joint Optimization of Search and Detection of Objects in Technical Systems. International Journal of Emerging Trends in Engineering Research, 8 (1), 7–12. <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/02812020>
22. Khudov, H., Myrno, P., Ikhsanov, S., Diakonov, O., Kovalenko, O., Solomonenko, Y. et al. (2021). Development a method for determining the coordinates of air objects by radars with the additional use of multilateration technology. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (9 (113)), 6–16. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.242935>
23. Khudov, H., Makoveichuk, O., Kostyria, O., Butko, I., Poliakov, A., Kozhushko, Y. et al. (2024). Devising a method for determining the coordinates of an unmanned aerial vehicle via a network of portable spectrum analyzers. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (9 (132)), 97–107. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.318551>
24. Bellman Equation. Available at: <https://www.geeksforgeeks.org/bellman-equation/>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.330922

DEVISING A NUMERICAL METHOD FOR ESTIMATING THE POSITIONING ACCURACY OF AIRCRAFT BY AN INFORMATION- COMMUNICATION NETWORK OF OPTOELECTRONIC STATIONS (p. 101–120)

Andriy Tevyashev

Kharkiv National University of Radio Electronics,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5261-9874>

Oleksii Haluza

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
Kharkiv, Ukraine

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3809-149X>

Dmytro Kostaryev

Kharkiv National University of Radio Electronics,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-7528-031X>

Anton Paramonov

Kharkiv National University of Radio Electronics,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2124-064X>

Nataliia Sizova

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0103-1939>

The object of this study is the accuracy of aircraft positioning for open and covert video surveillance by an infocommunication network of optical-electronic stations along the trajectories of their movement. The task addressed is numerical assessment of the accuracy of aircraft positioning in airspace. It is proposed to use a convex polyhedron as a universal assessment of the accuracy of aircraft positioning, in which, with a given probability, the aircraft is located. It is shown that the lower estimate of this probability depends on the a priori information on the statistical properties of the errors in the estimates of the coordinates of the aircraft location, and the scattering ellipsoid, which is currently the main form of assessing the accuracy of aircraft positioning in airspace, is a special case and is always located inside a convex polyhedron.

The results reported here include the following:

- simulation models of open and covert video surveillance by an infocommunication network of optoelectronic stations along the trajectories of aircraft movement;
- a numerical method for estimating the uncertainty region in the form of a convex polyhedron, in which, with a given probability, the aircraft is located;
- dependence of change in the shapes and boundaries of the convex polyhedron on the errors of video surveillance and the mutual spatial location of the aircraft and the network of optoelectronic stations;
- software implementation of methods for constructing and visualizing the shapes and boundaries of uncertainty regions in the form of convex polyhedrons and scattering ellipsoids.

It is shown that the aircraft is inside the convex polyhedron with the probability $P \geq 0.8889$ for any distribution, $P \geq 0.9506$ for a symmetric one and $P \geq 0.9973$ for a normal distribution.

Keywords: optoelectronic station, infocommunication network, aircraft, convex polyhedron, scattering ellipsoid.

References

1. Bensky, A. (2016). Wireless Positioning Technologies and Applications. Artech House, 424.
2. Lazzari, F., Buffi, A., Nepa, P., Lazzari, S. (2017). Numerical Investigation of an UWB Localization Technique for Unmanned Aerial Vehicles in Outdoor Scenarios. IEEE Sensors Journal, 17 (9), 2896–2903. <https://doi.org/10.1109/jsen.2017.2684817>
3. Semenyuk, V., Kurmashev, I., Lupidi, A., Alyoshin, D., Kurmasheva, L., Cantelli-Forti, A. (2025). Advances in UAV detection: integrating multi-sensor systems and AI for enhanced accuracy and efficiency. International Journal of Critical Infrastructure Protection, 49, 100744. <https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2025.100744>
4. Saadaoui, F. Z., Cheggaga, N., Djabri, N. E. H. (2023). Multi-sensory system for UAVs detection using Bayesian inference. Applied Intelligence, 53 (24), 29818–29844. <https://doi.org/10.1007/s10489-023-05027-z>

5. Stuckey, H., Escamilla, L., Garcia Carrillo, L. R., Tang, W. (2024). Real-Time Optical Localization and Tracking of UAV Using Ellipse Detection. *IEEE Embedded Systems Letters*, 16 (1), 1–4. <https://doi.org/10.1109/les.2023.3234871>
6. Stuckey, H., Al-Radaideh, A., Escamilla, L., Sun, L., Carrillo, L. G., Tang, W. (2021). An Optical Spatial Localization System for Tracking Unmanned Aerial Vehicles Using a Single Dynamic Vision Sensor. 2021 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 3093–3100. <https://doi.org/10.1109/iros51168.2021.9636665>
7. Golyak, I. S., Anfimov, D. R., Golyak, I. S., Morozov, A. N., Tabalina, A. S., Fufurin, I. L. (2020). Methods for real-time optical location and tracking of unmanned aerial vehicles using digital neural networks. *Automatic Target Recognition XXX*, 50. <https://doi.org/10.1117/12.2573209>
8. Nam, S. Y., Joshi, G. P. (2017). Unmanned aerial vehicle localization using distributed sensors. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 13 (9), 155014771773292. <https://doi.org/10.1177/1550147717732920>
9. Hu, F., Wu, G. (2020). Distributed Error Correction of EKF Algorithm in Multi-Sensor Fusion Localization Model. *IEEE Access*, 8, 93211–93218. <https://doi.org/10.1109/access.2020.2995170>
10. Sorbelli, F. B., Pinotti, C. M., Silvestri, S., Das, S. K. (2022). Measurement Errors in Range-Based Localization Algorithms for UAVs: Analysis and Experimentation. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 21 (4), 1291–1304. <https://doi.org/10.1109/tmc.2020.3020584>
11. Vitiello, F., Causa, F., Opromolla, R., Fasano, G. (2024). Radar/visual fusion with fuse-before-track strategy for low altitude non-cooperative sense and avoid. *Aerospace Science and Technology*, 146, 108946. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2024.108946>
12. Bala, A., Muqaibel, A. H., Iqbal, N., Masood, M., Oliva, D., Abdul-lahi, M. (2025). Machine learning for drone detection from images: A review of techniques and challenges. *Neurocomputing*, 635, 129823. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2025.129823>
13. Yan, X., Fu, T., Lin, H., Xuan, F., Huang, Y., Cao, Y. et al. (2023). UAV Detection and Tracking in Urban Environments Using Passive Sensors: A Survey. *Applied Sciences*, 13 (20), 11320. <https://doi.org/10.3390/app132011320>
14. Svanstrom, F., Englund, C., Alonso-Fernandez, F. (2021). Real-Time Drone Detection and Tracking With Visible, Thermal and Acoustic Sensors. 2020 25th International Conference on Pattern Recognition (ICPR), 7265–7272. <https://doi.org/10.1109/icpr48806.2021.9413241>
15. Tevyashev, A., Zemlyaniy, O., Shostko, I., Kostaryev, D., Paramonov, A. (2024). Devising an analytical method for estimating aircraft positioning accuracy by an infocommunication network of optoelectronic stations. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (131)), 36–48. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.312762>
16. Zekavat, S. A. (Reza), Buehrer, R. M. (Eds.) (2011). *Handbook of Position Location*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118104750>
17. Khudov, H., Berezhnyi, A., Oleksenko, O., Maliuha, V., Balyk, I., Herda, M., Sobora, A. et al. (2023). Increasing of the accuracy of determining the coordinates of an aerial object in the two-position network of small-sized radars. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (125)), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.289623>
18. Zheng, Q., Chen, J., Yang, R., Shan, Z. (2017). Research on airborne infrared location technology based on orthogonal multi-station angle measurement method. *Infrared Physics & Technology*, 86, 202–206. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2017.08.019>
19. Putyatin, V. G., Dodonov, A. G. (2017). Ob odnoy zadache vysokotochnykh traektornykh izmereniy opticheskimi sredstvami. *Reiestratsiya, zberihannya i obrobka danykh*, 19 (2), 36–54. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/rzod_2017_19_2_6
20. Dodonov, A. G., Putyatin, V. G. (2017). Nazemnye opticheskie, optiko-elektronnye i lazerno-televizionnye sredstva traektornykh izmereniy. *Matematychni mashyny i systemy*, 4, 30–56. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/131985/02-Dodonov.pdf?sequence=1>
21. Tevyashev, A., Zemlyaniy, O., Shostko, I., Paramonov, A. (2024). Mathematical Models and Methods of Observation and High-Precision Assessment of the Trajectories Parameters of Aircraft Movement in the Infocommunication Network of Optoelectronic Stations. 2nd International Congress of Electrical and Computer Engineering, 295–309. https://doi.org/10.1007/978-3-031-52760-9_21
22. Shostko, I., Tevyashev, A., Zemlyaniy, O., Tsibulnikov, D. (2023). Designing and testing a prototype of optical-electronic station for detecting and tracking moving objects in the air. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (5 (126)), 36–42. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.295101>
23. Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Collins, J. (2001). *Global Positioning System*. Springer Vienna. <https://doi.org/10.1007/978-3-7091-6199-9>
24. Hahn, G. J., Shapiro, S. S. (1994). *Statistical models in engineering*. Wiley, 376.
25. Precise Simulation. GEOMLib version 1.0. GitHub. Available at: <https://github.com/precise-simulation/geomlib/releases/tag/1.0>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.329263

РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МЕТОДУ ПЛАНУВАННЯ ЗАДАЧ У ГЕТЕРОГЕННИХ РОЗПОДІЛЕНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ (с. 6–18)

С. О. Єнгаличев, О. В. Леуненко, В. В. Давидов

Об'єктом дослідження є процес планування задач у гетерогенних розподілених інформаційних системах. Розроблений метод використовує Graph Attention Network (GAT) для врахування ймовірнісної залежності між задачами та Proximal Policy Optimization (PPO) для динамічного керування розподілом задач у системі. Наукова проблема полягає у низькій ефективності управління ресурсами, особливо в умовах динамічного навантаження та значної невизначеності, що характерно для розподілених інформаційних систем. Розроблено інтелектуальний метод планування задач у гетерогенних розподілених інформаційних системах, який ефективно поєднує графові моделі DAG (Directed Acyclic Graph) і GERT (Graphical Evaluation and Review Technique) з передовими алгоритмами штучного інтелекту. Крім того, використовується метод Байєса для оптимізації призначення задач обчислювальним вузлам. Використання запропонованого методу дозволило зменшити середній час виконання задач з 51.5 до 35.2 секунди, а стандартне відхилення навантаження між вузлами – з 0.47 до 0.22. Такі результати пояснюються гнучкістю моделей до непередбачуваних змін і можливістю самонавчання на основі накопичених даних. Особливістю методу є поєднання класичних графових моделей із ймовірнісною оцінкою та адаптивними механізмами штучного інтелекту, що дозволило не лише врахувати динаміку середовища, а й забезпечити точне реагування на зміну доступності ресурсів. Завдяки використанню GERT-графів алгоритм формує альтернативні шляхи планування у випадку збоїв або непередбачених затримок, а компоненти машинного навчання забезпечують самокорекцію рішень. Метод орієнтований на застосування в хмарних та IoT-інфраструктурах, де критичними є масштабованість, точність планування та стійкість до змін.

Ключові слова: розподілені обчислювальні системи, графові моделі, ресурсне планування, інтелектуальні системи управління.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.331201

РОЗРОБКА МЕТОДУ ПРИЙМАННЯ БАГАТОВИМІРНОГО СИГНАЛУ З ВИКОРИСТАННЯМ ФАЗОРІЗНИЦЕВОЇ МОДУЛЯЦІЇ ВИСОКИХ ПОРЯДКІВ У МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ НАСТУПНИХ ПОКОЛІНЬ (с. 19–32)

Н. В. Галаган, Л. Н. Беркман, О. В. Дробик, А. О. Макаренко, В. О. Завацький

Об'єктом дослідження виступає процес приймання багатовимірних сигналів, сформованих на основі фазорізничевої модуляції високих порядків системи передачі даних.

Розвиток мобільних мережах наступних поколінь супроводжується підвищеними вимогами до швидкості, надійності та завадостійкості передавання інформації. Існуючі методи модуляції забезпечують зростання швидкості передавання інформації за рахунок зниження завадостійкості і збільшення спектральної ширини сигналу. Загальна невирішена проблема полягає у відсутності ефективного методу формування багатовимірних сигналів n -ї кратності та приймання на основі фазорізничевої модуляції високих порядків, здатних підвищити ефективність цих параметрів.

У роботі запропоновано метод, який дозволяє формувати тривимірний багатопозиційний сигнал 3D АФМ-32, що використовує три незалежні параметри – амплітуду, фазу та час. Особливістю отриманого результату є те, що стійкість до завад забезпечується без збільшення спектральної ширини сигналу, а завдяки тривимірному форматуванню, яке збільшує відстань між сигнальними точками на 50%. Розроблено алгоритм когерентного приймання, що забезпечує точне відновлення сигналу навіть за наявності фазових або частотних збурень. Показано, що ефективність приймання досягається при інтервалі усереднення не менше ніж $M = 20$, за якого система демонструє ймовірність помилки на рівні $SER \approx 10^{-8}$ при $E_b/N_0 \approx 17.4$ дБ. Це дозволяє отримати енергетичний вииграш 2–3 дБ у порівнянні з QAM-32 та класичною АФМ. Запропонований підхід інваріантний до фазових зсувів завдяки різницям фаз першого та другого порядків, що усуває неоднозначності при прийманні. 3D АФМ-32 продемонструвала вищу завадостійкість порівняно з QAM-16/32 та АФМ-16/32 при однакових умовах. Результати можуть бути використані в мережах 5G/6G, зокрема в адаптивних OFDM-системах, автономному транспорті та телеметрії.

Ключові слова: фазорізницева модуляція, 32-позиційний, 3D АФМ-32, багатовимірний, OFDM, завадостійкість, когерентний алгоритм, енергетична ефективність, 5G/6G.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.329258

РОЗРОБКА МЕТОДУ ВИЯВЛЕННЯ КІБЕРАТАК НА ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ (с. 33–39)

С. Р. Оваїд, Г. Г. Мягких, О. Б. Одаруценко, С. О. Кашкевич, А. В. Шишацький, Г. А. Плехова, А. Г. Гримуд, С. М. Петрук, О. П. Шапошнікова, В. В. Стригун

Об'єктом дослідження є штучні імунні системи. Проблема, яка вирішується в дослідженні, – підвищення оперативності виявлення кібератак в інформаційних системах при забезпеченні заданої збіжності незалежно від кількості дестабілізуючих факторів. Пред-

метод дослідження є процес виявлення кібератак. Запропоновано метод виявлення кібератак на інформаційні системи на основі технологій штучного інтелекту. Оригінальність методу полягає у використанні додаткових удосконалених процедур, які дозволяють:

- досягти виставлення початкової популяції агентів зграї комбіновано здійснювати верифікацію параметрів інформаційної системи за допомогою удосконаленого алгоритму зграї кажанів. Зазначене дозволяє мінімізувати похибку введення не коректних даних для роботи даних про стан інформаційної системи оперативного угруповання військ (сил);
- виконати первинну ідентифікацію атак, які притаманні зазначеній інформаційній системі за допомогою класифікаційного дерева;
- здійснити адаптацію під тип та тривалість кібератаки за рахунок багаторівневої адаптації штучної імунної системи;
- провести первинний відбір антитіл до кожного з роїв штучної імунної системи за допомогою удосконаленого генетичного алгоритму;
- здійснювати навчання антитіл загального рою антитілами елітного рою, чим забезпечується можливість глибокого навчання;
- проводити заміну непридатних для пошуку осіб за рахунок оновлення популяції антитіл;
- здійснювати одночасний пошук рішення в різних напрямках;
- розрахувати необхідну кількість обчислювальних ресурсів, яких необхідно залучити у разі неможливості проведення розрахунків наявними обчислювальними ресурсами.

Проведений приклад використання запропонованого методу на прикладі виявлення кібератак в оперативному угрупованні військ (сил), який показав підвищення точності в середньому на 16%, підвищення оперативності в середньому на 12%, при забезпеченні високої збіжності отриманих результатів на рівні 95.23%.

Ключові слова: кібер атаки, класифікаційне дерево, генетичний алгоритм, дестабілізуючі фактори, угруповання військ (сил).

DOI 10.15587/1729-4061.2025.327410

ВИЗНАЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТИПОЛОГІЇ НА ОСНОВІ ГРАФІВ ДЛЯ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО НАВЧАННЯ У ВИЯВЛЕННІ ФІНАНСОВОГО ШАХРАЙСТВА (с. 40–54)

Sabina Rakhmetulayeva, Aliya Kulbayeva, Aigerim Bolshibayeva, Vassiliy Serbin

Досліджується виявлення шахрайства в мережах фінансових транзакцій за допомогою машинного навчання та графових типологій. Об'єктом дослідження є дані про фінансові транзакції, проаналізовані для підвищення точності та ефективності виявлення шахрайської діяльності. Проблема, що розглядається, полягає в обмеженій узагальнюваності та низькій частоті відкликання традиційних моделей виявлення шахрайства в складних реальних умовах.

Для вирішення цієї проблеми було розроблено гібридну структуру, яка інтегрує випадкові ліси, нейронні мережі та графові типологічні індикатори. Сім типологій відмивання було вилучено з графа транзакцій – віялове розсіювання, віялове розширення, розсіювально-збірний, збірно-розсіювальний, циклічний, двочастковий та складений двочастковий – і використано як додаткові ознаки для класифікації. SMOTE було застосовано для виправлення дисбалансу класів під час навчання.

Експериментальні результати показують, що додавання типологічних ознак значно покращує продуктивність моделі. Найкращі результати були отримані використовуючи випадковий ліс: акуратність 98,5%, точність 79,1%, частота відкликання 56,3% та показник F1 65,7%. Додавання прапорців на основі типології підвищило частоту відкликання на 9–11 відсоткових пунктів порівняно з моделями без них. Графові шаблони, такі як віялове розширення та розсіяння, були виявлені у 3,5–5,1% транзакцій, тоді як складніші структури, такі як циклічні та розсіювально-збірні, з'являлися рідше, але сильніше корелювали з відомим шахрайством.

Методи без нагляду також показали багатообіцяючі результати: автокодер виявив 60% випадків шахрайства серед 2% найпоширеніших аномальних транзакцій, тоді як К-середні виявили 55% шахрайства в межах позначених кластерів. Ці методи виявилися корисними для виявлення нових типів шахрайства, які ще не позначені в навчальних даних.

Модель підходить для інтеграції в системи фінансової безпеки з мінімальними вимогами до вхідних даних – ідентифікатори рахунків, позначки часу та суми транзакцій – поряд з базовою графовою аналітикою. Її стійкість до різних наборів даних свідчить про широку застосовність у різних фінансових установах.

Ключові слова: фінансове шахрайство, шаблони транзакцій, машинне навчання, графовий аналіз, виявлення типології, класифікація, виявлення аномалій.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.332271

РОЗРОБКА МЕТОДУ ПСИХОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ НА ЦІЛЬОВІ АУДИТОРІЇ ГЕЙМЕРІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ (с. 55–64)

С. П. Євсєєв, С. В. Мілевський, Ю. Б. Прібілев, Є. О. Меленті, А. Д. Наливайко, С. В. Базарний, О. О. Морозов, І. О. Казак, А. В. Гребенюк, О. В. Іващенко

Об'єкт дослідження – процес психологічного впливу на цільову аудиторію геймерів із використанням інформаційних технологій. Вирішувалась проблема відсутності дієвих методів щодо оцінювання та коригування психофізіологічного стану гравців. Запропонований метод психологічного впливу на цільові аудиторії геймерів забезпечує проведення дослідження аспектів використання інтерактивних платформ у психологічних операціях та освітніх платформ, які засновані на ігрових технологіях. Особливості запропонованого методу та отримані результати полягають у врахуванні типів цільової аудиторії та впливом на цю аудиторію відповідними методами через інформаційний контент комп'ютерної гри. Метод, який базується на розробленій стохастичній моделі,

дозволяє прогнозувати поведінку користувачів інформаційної технології – комп’ютерної гри. Результати дослідження свідчать, що для ефективного використання інформаційних технологій для підвищення ефекту психологічного впливу необхідна адаптація інформаційного контенту до особливостей сприйняття різних типів цільової аудиторії геймерів. Запропонований метод забезпечує у динаміці створення передумови формування методу психологічного впливу на цільові аудиторії геймерів із застосуванням сучасних інформаційних технологій. Розроблений метод доцільно впроваджувати на наступні умови використання інформаційних технологій: організаційні (орієнтація на потрібну аудиторію); технічні (вимоги до комп’ютерної техніки, програмного забезпечення тощо); соціальні (внесення до ігрових сценаріїв розподілу ігрової середовища та ігрових персонажів до різних категорій соціальних груп). Сформувані прогнозовані психологічні ефекти при використанні комп’ютерної гри: емоційний вплив; підвищення мотивації; формування критичного мислення; технічні рекомендації.

Ключові слова: інформаційні технології, психологічний вплив, комп’ютерна гра, оцінювання ефективності, цільова аудиторія.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.331044

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ КІНЦЕВИХ АВТОМАТІВ У ШИФРУВАННІ ТА ДЕШИФРУВАННІ (с. 65–78)

Zhanat Saukhanova, Altynbek Sharipbay, Gulmira Shakhmetova, Alibek Barlybayev, Sayat Raykul, Altay Khassenov

Сучасна криптографічна галузь відзначена зусиллями вдосконалити традиційні методи шляхом інтеграції нових математичних концепцій. Це спрямоване на усунення недоліків класичної криптографії, вирішення нових проблем безпеки та розробку більш складних систем захисту даних. Серед цих інновацій – застосування кінцевих автоматів, або *SturpAutomata*, які використовуються як кодери та декодери. Об’єктом цього дослідження є використання скінченних автоматів, зокрема криптоавтоматів, у криптографічних системах. Дослідження розглядає проблему вразливостей у класичних криптографічних методах, які включають схильність до нових криптоаналітичних атак та неефективність обчислювальних витрат.

Суть отриманих результатів полягає в демонстрації практичної реалізації та криптографічних переваг оборотних скінченних автоматів, включаючи сюр’єктивні автомати та автомати Мілі, інтегровані в системи шифрування. Завдяки властивим цим автоматам властивостям, таким як оборотність, компонуємість та обчислювальна ефективність, вдалося підвищити безпеку шифрування, значно ускладнивши спроби криптоаналізу. Ці результати пояснюються, перш за все, композиційним підходом, який передбачає об’єднання кількох скінченних автоматів для формування складних структур шифрування. Були проведені ретельні статистичні оцінки, включаючи NPCR та UACI, які дали значення NPCR у діапазоні від 99,56% до 99,61% та значення UACI близько 33%, що підтверджує сильну стійкість до диференціальних атак. Крім того, стійкість до шуму була підтверджена за допомогою оцінок PSNR, досягнувши значень понад 35 дБ навіть за умов значного шуму, що підтверджує надійність у практичних сценаріях. Крім того, криптографічну стійкість було підтверджено статистичними тестами випадковості NIST.

Ключові слова: скінченні автомати, автомати мілі, криптографія з кінцевими автоматами, композиція автоматів, статистичний криптоаналіз.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.330905

РОЗРОБКА МЕТОДУ ФОРМУВАННЯ ЕТАЛОННИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИСОКОТОЧНОЇ НАВІГАЦІЇ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ПРИ ЗМІНІ ГЕОМЕТРИЧНИХ УМОВ ВІЗУВАННЯ (с. 79–92)

О. М. Сотніков, Р. Г. Сидоренко, С. В. Закіров, С. А. Микусь, С. О. Власов, О. В. Шкварський, Ю. В. Самсонов, А. В. Петік, А. О. Нечаус, О. М. Рікунов

Об’єктом дослідження є процес формування мінімально достатньої сукупності еталонних зображень для застосування в кореляційно-екстремальних системах навігації при зміні навігаційних параметрів безпілотних літальних апаратів. У статті представлені результати розв’язання проблеми формування сукупності еталонних зображень з урахуванням змін навігаційних параметрів високошвидкісних безпілотних літальних апаратів та їх впливу на інформаційні ознаки зображень. Досліджено вплив змін кутів візування та висоти на формування сегментованих зображень за енергетичними характеристиками. Встановлено кроки дискрет за навігаційними параметрами, при яких зберігається кореляція між фрагментами зображень на рівні 0.9. Ці значення складають від 90 до 120 метрів за висотою та від 15° до 25° за кутовими параметрами. Досліджено вплив структури сегментованих зображень на виділення об’єкта прив’язки. Показано, що ознакою виділення об’єкта прив’язки на сегментованому зображенні є значення фрактальної розмірності 2,998...2,999. Дослідження проводилося в програмному середовищі MATLAB з використанням вихідного зображення, вибраного з Google Earth Pro. Використання вибраної послідовності побудови фрагментів еталонних зображень дозволило виявити об’єкти, які мають найкращі характеристики за співвідношенням сигнал/шум та структурою зі зростанням дискретності навігаційних параметрів. Метод відрізняється від відомих використанням якості інформаційних ознак поряд з яскравістю та контрастом об’єктів структури зображення. Це дозволить зменшити кількість фрагментів еталонних зображень при збереженні показника точності. Отримані результати можуть бути впроваджені в системах вторинної обробки кореляційно-екстремальних систем навігації, що використовуються на високошвидкісних безпілотних літальних апаратах.

Ключові слова: еталонні зображення, навігаційні параметри, дискретності за кутами візування та висотою, інформаційні ознаки, вирішальна функція.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.331877**РОЗРОБКА МЕТОДУ ДИСКРЕТНОГО ПОШУКУ ПОВІТРЯНОГО СУДНА, ЯКЕ ЗАЗНАЛО ЛИХА, ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОШЕННЯ БЛЕКУЕЛА-БЛЕКА-КАДАНА (р. 93–100)****Г. В. Худов, І. Ю. Грідасов, І. В. Рубан, О. М. Маковейчук, І. М. Бутко, В. Г. Худов, Ю. М. Єлісов, В. Г. Малюга, М. О. Яловега, Р. Г. Худов**

Об'єкт дослідження – процес пошуку повітряного судна, яке зазнало лиха пошуковими засобами. Основна гіпотеза дослідження полягає в тому, що використання рівномірно-оптимальної стратегії пошуку в дискретній зоні пошуку з урахуванням відношення Блекуела-Блека-Кадана дозволить мінімізувати середній час виявлення повітряного судна, яке зазнало лиха. Сформульовано оптимальне баєсівське правило, яке полягає у визначенні максимального значення відношення правдоподібності у поточному дискретному секторі пошуку та його порівняння з порогом. Введено клас рівномірно-оптимальних стратегій пошуку. Удосконалено метод дискретного пошуку повітряного судна, яке зазнало лиха, в якому на відміну від відомих:

- врахована апіорна ймовірність знаходження об'єкту пошуку в секторі пошуку;
- розраховується ймовірність того, що об'єкт пошуку буде виявлений при перегляді сектору пошуку;
- визначаються відношення Блекуела-Блека-Кадана;
- проводиться ранжування отриманих величин Блекуела-Блека-Кадана, а послідовність обстеження секторів пошуку проводиться у відповідності із отриманим ранжуванням величин відношень Блекуела-Блека-Кадана.

Проведено оцінювання середнього часу до виявлення об'єкта пошуку. Встановлено, що при оптимізації пошуку повітряного судна, яке зазнало лиха, середній час пошуку об'єкту пошуку зменшується на 12%.

Обмеженням дослідження є спрощене уявлення про район пошуку, який представлений регулярною дискретною сіткою без урахування складного рельєфу або заборонених зон. Крім того, не враховано зовнішні фактори, такі як погодні умови, вітер, тощо, які можуть впливати на швидкість та маршрут руху засобу пошуку.

Недоліками удосконаленого методу є його застосування лише для випадку області пошуку дискретної структури.

Ключові слова: відношення Блекуела-Блека-Кадана, дискретний пошук, об'єкт пошуку, пошуково-рятувальна операція, рівномірно-оптимальна стратегія пошуку.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.330922**РОЗРОБКА ЧИСЕЛЬНОГО МЕТОДУ ОЦІНЮВАННЯ ТОЧНОСТІ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНОЮ МЕРЕЖЕЮ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ СТАНЦІЙ (с. 101–120)****А. Д. Тевяшев, О. А. Галуза, Д. Б. Костарєв, А. К. Парамонов, Н. Д. Сізова**

Об'єкт дослідження – точність позиціонування літальних апаратів для відкритого та прихованого відеоспостереження інфокомунікаційною мережею оптико-електронних станцій за траєкторіями їх руху. Вирішується проблема чисельного оцінювання точності позиціонування літальних апаратів у повітряному просторі. Запропоновано як універсальну оцінку точності позиціонування літальних апаратів використовувати опуклий, у якому, із заданою ймовірністю, знаходиться літальний апарат. Показано, що нижня оцінка цієї ймовірності залежить від апіорної інформації про статистичні властивості помилок оцінок координат розташування літальних апаратів, а еліпсоїд розсіювання, який, на теперішній час, є основною формою оцінювання точності позиціонування літальних апаратів у повітряному просторі, є окремим випадком і завжди перебуває всередині опуклого багатогранника.

Отримані результати:

- імітаційні моделі відкритого та прихованого відеоспостереження інфокомунікаційною мережею оптико-електронних станцій за траєкторіями руху літальних апаратів;
- чисельний метод оцінювання області невизначеності у вигляді опуклого багатогранника, в якому, із заданою ймовірністю, знаходиться літальний апарат;
- залежність зміни форм та меж опуклого багатогранника від похибок відеоспостереження та взаємного просторового розташування літального апарату і мережі оптико-електронних станцій;
- програмна реалізація методів побудови та візуалізації форм і меж областей невизначеності у вигляді опуклих багатогранників та еліпсоїдів розсіювання.

Показано, що літальний апарат перебуває всередині опуклого багатогранника з ймовірністю $P \geq 0,8889$ для будь-якого розподілу, $P \geq 0,9506$ для симетричного і $P \geq 0,9973$ для нормального розподілу.

Ключові слова: оптико-електронна станція, інфокомунікаційна мережа, літальні апарати, опуклий багатогранник, еліпсоїд розсіювання.