

ABSTRACT AND REFERENCES

INFORMATION AND CONTROLLING SYSTEM

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.339774

DEVELOPMENT OF A DISTANCE MEASUREMENT MODEL USING A MAGNIFICATION APPROACH AND MODIFICATION OF THE YOLOV3 ARCHITECTURE (p. 6–15)

Herdianto HerdiantoUniversitas Sumatera Utara, Padang bulan,
North Sumatera, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3217-5609>**Poltak Sihombing**Universitas Sumatera Utara, Padang bulan,
North Sumatera, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5348-4537>**Fahmi Fahmi**Universitas Sumatera Utara, Padang bulan,
North Sumatera, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6760-4824>**Tulus Tulus**Universitas Sumatera Utara, Padang bulan,
North Sumatera, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5178-7806>

Determining the best model for measuring object distance, the appropriate formula for that model, and modifying the YOLOv3 architecture is the focus of this research. This was done to address the problem of object distance measurement errors using a monocular camera. In this study, the researchers used a magnification approach and modified the YOLOv3 architecture, which was then named Hybrid Dist – YOLOv3. The proposed distance measurement model does not use camera height and camera shift distance variables, so it can still measure objects that are higher than the camera height and the measurement time is faster. The only variable in the measured distance formula is the change in object image height. As for modifications to the YOLOv3 architecture, there are two types of training and test data: initial measurement data and from KITTI. The training data from the initial measurements consisted of three classes, namely person, bottle, and jerrycan, with 24, 10, and 10 samples, respectively. The detection accuracy at $mAP_{0.50}$ is 0.994, 1.1, with absolute measurement error values (ϵ_A) of -0.274 , -0.153 , and -0.163 . For the training data from KITTI, there are three object classes, namely pedestrian, car, and truck, with 1150, 7682, and 318 samples, respectively. From the tests conducted, the ϵ_A values for the pedestrian, car, and truck classes show an improvement from the previous study, which were originally 1.75, 2.49, and 4.63, to 1.37, 2.25, and 3.74. The results of this research can be applied in the automotive industry to driver assistance systems (DAS), soccer robots, or similar systems that require distance measurement.

Keywords: detection object, distance estimation, DAS, monocular camera, YOLO, Hybrid Dist.

References

- Raj, T., Hashim, F. H., Huddin, A. B., Ibrahim, M. F., Hussain, A. (2020). A Survey on LiDAR Scanning Mechanisms. *Electronics*, 9 (5), 741. <https://doi.org/10.3390/electronics9050741>
- Ding, M., Zhang, Z., Jiang, X., Cao, Y. (2020). Vision-Based Distance Measurement in Advanced Driving Assistance Systems. *Applied Sciences*, 10 (20), 7276. <https://doi.org/10.3390/app10207276>
- Kim, J. B. (2019). Efficient Vehicle Detection and Distance Estimation Based on Aggregated Channel Features and Inverse Perspective Mapping from a Single Camera. *Symmetry*, 11 (10), 1205. <https://doi.org/10.3390/sym11101205>
- Haseeb, M. A., Guan, J., Ristić-Durrant, D., Graser, A. (2018). DisNet: A Novel Method for Distance Estimation from Monocular Camera. In 10th Planning, Perception and Navigation for Intelligent Vehicles. Madrid. Available at: <https://project.inria.fr/ppniv18/files/2018/10/paper22.pdf>
- Lee, S., Han, K., Park, S., Yang, X. (2022). Vehicle Distance Estimation from a Monocular Camera for Advanced Driver Assistance Systems. *Symmetry*, 14 (12), 2657. <https://doi.org/10.3390/sym14122657>
- Ali, A., Hassan, A., Ali, A. R., Ullah Khan, H., Kazmi, W., Zaheer, A. (2020). Real-time vehicle distance estimation using single view geometry. 2020 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV), 1100–1109. <https://doi.org/10.1109/wacv45572.2020.9093634>
- Liang, H., Ma, Z., Zhang, Q. (2022). Self-Supervised Object Distance Estimation Using a Monocular Camera. *Sensors*, 22 (8), 2936. <https://doi.org/10.3390/s22082936>
- Lin, T.-Y., Maire, M., Belongie, S., Hays, J., Perona, P., Ramanan, D. et al. (2014). Microsoft COCO: Common Objects in Context. *Computer Vision – ECCV 2014*, 740–755. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10602-1_48
- Jamzad, M., Foroughnassiraei, A., Chiniforooshan, E., Ghorbani, R., Kazemi, M., Chitsaz, H. et al. (2000). Middle Sized Soccer Robots: ARVAND. *RoboCup-99: Robot Soccer World Cup III*, 61–73. https://doi.org/10.1007/3-540-45327-x_4
- Jünger, M., Mellmann, H., Spranger, M. (2008). Improving Vision-Based Distance Measurements Using Reference Objects. *RoboCup 2007: Robot Soccer World Cup XI*, 89–100. https://doi.org/10.1007/978-3-540-68847-1_8
- Joglekar, A., Joshi, D., Khemani, R., Nair, S., nd Sahare, S. (2011). Depth Estimation Using Monocular Camera. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 2 (4), 1758–1763. Available at: <https://www.ijcsit.com/docs/Volume 2/vol2issue4/ijcsit2011020480.pdf>
- Venu Gopala Krishnan, J., Manoharan, N., Sheela Rani, B. (2010). Estimation of Distance To Texture Surface Using Complex Log Mapping. *J. Comput. Appl.*, 3 (3), 16–21. Available at: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/30862784/50116157_vo-l3i3p4-libre.pdf?1392203742=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEstimation_Of_Distance_to_Texture_Surfac.pdf&Expires=1764668791&Signature=HuHi4o78VYI164-U6Swdr~e5-p6cYWI92CSjmgVeRncJDw8ozK8aH-hi5gpCo2sgdVRTsUqMdArIQmvy2QnPDWsKKriFM71R4T-Dt056Sb7~ZCP3hv-YDwZFXt~0nC8fjSOGZkh0Vx6NJe0HYeuh87m-5VSwTOSb0i0nlrx3N72n4CtoiUXFkK01Wr4kDaYvi4H~CnwlRZRxxHbLKY82fPcIKwAGX9M0oKH76LmuhHw~h1ZEoh2~ntoH6PR9-nRv3dfJu0jIxpNip-q6BZsceOBE0Ksly4FPJw9tPL4NsIA2kJRv2RA-ecSM2TxHN1xzF19uHoe0newY30eGu~QlT8kBQ__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
- Megalingam, R. K., Shriram, V., Likhith, B., Rajesh, G., Ghanta, S. (2016). Monocular distance estimation using pinhole camera approximation to avoid vehicle crash and back-over accidents. 2016 10th International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO). <https://doi.org/10.1109/isco.2016.7727017>
- Tram, V. T. B., Yoo, M. (2018). Vehicle-to-Vehicle Distance Estimation Using a Low-Resolution Camera Based on Visible Light Communications. *IEEE Access*, 6, 4521–4527. <https://doi.org/10.1109/access.2018.2793306>

15. Qi, S. H., Li, J., Sun, Z. P., Zhang, J. T., Sun, Y. (2019). Distance Estimation of Monocular Based on Vehicle Pose Information. *Journal of Physics: Conference Series*, 1168, 032040. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1168/3/032040>
16. Liu, J., Zhang, R., Hou, S. (2020). Inter-vehicle distance estimation considering camera attitude angles based on monocular vision. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 235 (2-3), 894–900. <https://doi.org/10.1177/0954407020941399>
17. Zhu, J., Fang, Y. (2019). Learning Object-Specific Distance From a Monocular Image. 2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV), 3838–3847. <https://doi.org/10.1109/iccv.2019.00394>
18. Zhang, Y., Ding, L., Li, Y., Lin, W., Zhao, M., Yu, X., Zhan, Y. (2021). A regional distance regression network for monocular object distance estimation. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 79, 103224. <https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2021.103224>
19. Vajgl, M., Hurtik, P., Nejezchleba, T. (2022). Dist-YOLO: Fast Object Detection with Distance Estimation. *Applied Sciences*, 12 (3), 1354. <https://doi.org/10.3390/app12031354>
20. Ahishali, M., Yamac, M., Kiranyaz, S., Gabbouj, M. (2023). Representation based regression for object distance estimation. *Neural Networks*, 158, 15–29. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2022.11.011>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.346938

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT CONTROL AND ENERGY MANAGEMENT SYSTEM FOR STRATOSPHERIC TELECOMMUNICATION AIRSHIPS (p. 16–27)

Ainur Kuttybayeva

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7281-3690>

Samal Zhamalova

Astana International University, Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7310-9398>

Mukhit Abdullayev

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3349-1881>

Gaziz Zhampeisso

National Defense University of the Republic of Kazakhstan, Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9367-1031>

Kalmukhamed Tazhen

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-5890-5328>

Anar Khabay

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0409-1531>

Aigul Orazymbetova

International Information Technology University, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1053-9424>

Askar Kanzhar

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4034-9038>

Tatyana Mechsheryakova

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1910-8487>

Vladimir Domrachev

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8233-4212>

The object of the study is an autonomous high-altitude airship platform. This type of high-altitude platform is designed for long-term telecommunication retransmission at altitudes of 18–25 km. The main problem lies in the insufficient stability of flight at the height of the stratosphere and the limited energy capabilities of aircraft. An integrated intelligent control system and energy management have been developed to solve the problems. This architecture in portable form includes a sensor module, an STM32 microcontroller, a LoRa telemetry channel, a mathematical model of dynamics taking into account lift, aerodynamic drag, external factors and atmospheric parameters, and most importantly, a hybrid adaptive PID-fuzzy controller was proposed. Additionally, a model of the energy balance was proposed, which directly interacts with solar panels, energy consumption of drives and battery operation. The simulation data obtained shows that the use of the PID-fuzzy controller provides a significant increase in the stability of the platform. The transition time is reduced by 44.4%, the maximum deviation from the set altitude and flight path is reduced by 56.5%, and the average drive consumption is reduced by 20–22%. The energy balance model demonstrates that the developed system is capable of retaining up to 46% of the battery charge after 24 hours of battery life, which is 18% higher compared to a system without adaptive energy management.

The practical significance of the project lies in the possibility of using the developed system as part of autonomous telecommunications networks, balloons, an emergency communication system, remote sensing of the earth, as well as in elements of promising 6G and NTN networks.

Keywords: high-altitude platform systems (HAPS), airships, PID-fuzzy, LoRa, MatLab, aerodynamic modeling, energy management.

References

1. Abdykadyrov, A., Abdullayev, M., Kuttybayeva, A., Tazhen, K., Kystaubayev, N., Ermekbayev, M. et al. (2025). Development and evaluation of radio frequency management approaches for stratospheric communication systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (5 (135)), 17–29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.331607>
2. Abdullayev, M., Kuttybayeva, A., Tazhen, K., Khabay, A., Ospanova, N., Tashtay, Y. et al. (2025). Development of a stratospheric airship-based network architecture for telecommunication in remote areas. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (137)), 82–92. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.340990>
3. Sabibolda, A., Tsyporenko, V., Smailov, N., Tsyporenko, V., Abdykadyrov, A. (2024). Estimation of the Time Efficiency of a Radio Direction Finder Operating on the Basis of a Searchless Spectral Method of Dispersion-Correlation Radio Direction Finding. *Advances in Asian Mechanism and Machine Science*, 62–70. https://doi.org/10.1007/978-3-031-67569-0_8
4. Seidaliyeva, U., Ilipbayeva, L., Utebayeva, D., Smailov, N., Matson, E. T., Tashtay, Y. et al. (2025). LiDAR Technology for UAV Detection: From Fundamentals and Operational Principles to Advanced Detection and Classification Techniques. *Sensors*, 25 (9), 2757. <https://doi.org/10.3390/s25092757>
5. Smailov, N., Tsyporenko, V., Ualiyev, Z., Issova, A., Dosbayev, Z., Tashtay, Y. et al. (2025). Improving accuracy of the spectral-correlation direction finding and delay estimation using machine learning. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (5 (134)), 15–24. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.327021>
6. Widiawan, A. K., Tafazolli, R. (2006). High Altitude Platform Station (HAPS): A Review of New Infrastructure Development for Future Wireless Communications. *Wireless Personal Communications*, 42 (3), 387–404. <https://doi.org/10.1007/s11277-006-9184-9>

7. Karabulut Kurt, G., Khoshkholgh, M. G., Alfattani, S., Ibrahim, A., Darwish, T. S. J., Alam, M. S. et al. (2021). A Vision and Framework for the High Altitude Platform Station (HAPS) Networks of the Future. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 23 (2), 729–779. <https://doi.org/10.1109/comst.2021.3066905>
8. Beşkardeş, A., Hameş, Y., Kaya, K. (2024). A comprehensive review on fuzzy logic control systems for all, hybrid, and fuel cell electric vehicles. *Soft Computing*, 28 (13-14), 8183–8221. <https://doi.org/10.1007/s00500-023-09454-5>
9. Jin, B., Zhang, L., Chen, Q., Fu, Z. (2023). Energy management strategy of fuzzy logic control for fuel cell truck. *Energy Reports*, 9, 247–255. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.05.058>
10. Hokazono, Y., Kishiyama, Y., Asai, T. (2022). Studies toward Practical Application of HAPS in the Space RAN. *NTT Technical Review*, 20 (12), 28–35. <https://doi.org/10.53829/ntr202212fa3>
11. Arum, S. C., Grace, D., Mitchell, P. D. (2020). A review of wireless communication using high-altitude platforms for extended coverage and capacity. *Computer Communications*, 157, 232–256. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.04.020>
12. Cavus, M., Dissanayake, D., Bell, M. (2025). Deep-Fuzzy Logic Control for Optimal Energy Management: A Predictive and Adaptive Framework for Grid-Connected Microgrids. *Energies*, 18 (4), 995. <https://doi.org/10.3390/en18040995>
13. Assem, H., Azib, T., Bouchafaa, F., Laarouci, C., Belhaouas, N., Hadj Arab, A. (2023). Adaptive Fuzzy Logic-Based Control and Management of Photovoltaic Systems with Battery Storage. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 2023, 1–18. <https://doi.org/10.1155/2023/9065061>
14. Seane, T. B., Samikannu, R. (2023). Energy management of solar microgrids through fuzzy logic control: A review. *AIP Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1063/5.0126181>
15. Mershad, K., Dahrouj, H., Sareddeen, H., Shihada, B., Al-Naffouri, T., Alouini, M.-S. (2021). Cloud-Enabled High-Altitude Platform Systems: Challenges and Opportunities. *Frontiers in Communications and Networks*, 2. <https://doi.org/10.3389/frcmn.2021.716265>
16. Baset, D. A.-E., Rezk, H., Hamada, M. (2020). Fuzzy Logic Control Based Energy Management Strategy for Renewable Energy System. *2020 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/reepe49198.2020.9059203>
17. D'Oliveira, F. A., Melo, F. C. L. de, Devezas, T. C. (2016). High-Altitude Platforms - Present Situation and Technology Trends. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 8 (3), 249–262. <https://doi.org/10.5028/jatm.v8i3.699>
18. Bagarić, T., Rezo, Z., Steiner, S. (2025). High-Altitude Pseudo-Satellite platforms as support to air traffic management. *Transportation Research Procedia*, 83, 593–600. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2025.03.030>
19. Acun, F., Çunkaş, M. (2023). Low-cost fuzzy logic-controlled home energy management system. *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, 10 (1). <https://doi.org/10.1186/s43067-023-00100-6>
20. Subramanian, V., Bereznychenko, V. (2025). Cognitive fuzzy logic-integrated energy management for self-sustaining hybrid renewable microgrids. *Scientific Reports*, 15 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-94077-z>
21. Lin, G., Yang, J., Sun, H., Li, H., Liu, W., Zhu, Q. (2025). Optimization of energy management strategy with fuzzy logic control and low-pass filtering for hydrogen production system. *International Journal of Hydrogen Energy*, 116, 473–485. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.02.245>
22. Chu, Y., Donaldson, R., Kumar, R., Grace, D. (2021). Feasibility of quantum key distribution from high altitude platforms. *Quantum Science and Technology*, 6 (3), 035009. <https://doi.org/10.1088/2058-9565/abf9ae>
23. Elkhazraji, A., Alouini, M.-S., Farooq, A. (2025). HAPS Communication Networks: A Tutorial-cum-Survey on Integration with Optical Atmospheric Sensing. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2511.05877>
24. Abdullaev, M., Esnazarov, E. (2012). Organization of Broadband Communication Based on Stratospheric High-Altitude Platforms in the Territory of Kazakhstan. *Information and Telecommunication Technologies: Education, Science, Practice*, 232–236.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.347800

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT SUPPORT SYSTEM FOR HEPATOCELLULAR CARCINOMA TREATMENT SELECTION (p. 28–36)

Masuma Mammadova

Institute of Information Technology, Baku, Azerbaijan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2205-1023>

Nuru Bayramov

Azerbaijan Medical University, Baku, Azerbaijan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6958-5412>

Zarifa Jabrayilova

Institute of Information Technology, Baku, Azerbaijan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9661-5805>

Tetyana Baydyk

Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología

Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3095-2032>

Mehriban Huseynova

Azerbaijan Medical University, Baku, Azerbaijan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8885-9386>

The object of the study is the clinical decision-making process for selecting of hepatocellular carcinoma (HCC) treatment method based on the patient's medical data. The process of the HCC treatment method selection remains poorly formalized and is characterized by multi-criteria and the presence of numerous clinical situations, for each of which it is necessary to promptly identify the most accurate therapeutic solution.

This study develops an intelligent medical decision support system for HCC treatment method selection based on knowledge applicable in clinical practice.

It offers architectural and functional principles of the intelligent decision support system, classifying clinical situations by HCC treatment method, consisting of multiple possible combinations of 44 informative parameters. Based on the current values of these parameters, expert knowledge is transformed into production rules identifying HCC treatment methods.

A heuristic procedure treatment selection is developed based on production rule analysis in accordance with current parameter values, reproducing the reasoning patterns of participants in a multidisciplinary council during their consensus decision-making process regarding HCC treatment appointment. A software implementation of a decision-making model for HCC treatment selection, implemented in C# using the Visual Study 2019 platform, enabled the integration of an intelligent system with web technologies.

The intelligent medical decision support system automates the unique experience of professionals and helps physicians in a multidisciplinary consultation make prompt and informed decisions online regarding the appointment of personalized therapy. The system was piloted with expert physicians in several iterations until complete match between the consensus decision of the multidisciplinary council and the decision made by the developed system in accordance with clinical recommendations was achieved.

Keywords: hepatocellular carcinoma, treatment selection, intelligent decision support system, knowledge base.

References

- Reynolds, A. R., Furlan, A., Fetzter, D. T., Sasatomi, E., Borhani, A. A., Heller, M. T., Tublin, M. E. (2015). Infiltrative Hepatocellular Carcinoma: What Radiologists Need to Know. *RadioGraphics*, 35 (2), 371–386. <https://doi.org/10.1148/rg.352140114>
- Bayramov, N., Mammadova, Sh. (2022). A review of the current ERAS guidelines for liver resection, liver transplantation and pancreatoduodenectomy. *Annals of Medicine & Surgery*, 82. <https://doi.org/10.1016/j.amsu.2022.104596>
- Huang, D. Q., Tran, A., Tan, E. X., Nerurkar, S. N., Teh, R., Teng, M. L. P. et al. (2022). Characteristics and outcomes of hepatocellular carcinoma patients with macrovascular invasion following surgical resection: a meta-analysis of 40 studies and 8,218 patients. *Hepatobiliary Surgery and Nutrition*, 11 (6), 848–860. <https://doi.org/10.21037/hbsn-21-419>
- Ray, S., Mehta, N. N., Golhar, A., Nundy, S. (2018). Post hepatectomy liver failure – A comprehensive review of current concepts and controversies. *Annals of Medicine and Surgery*, 34, 4–10. <https://doi.org/10.1016/j.amsu.2018.08.012>
- Calderon, F., Masino, E., Caram, L., Ardiles, V. (2021). Short-and-Long-Term Outcomes of Hepatic Resection for Hepatocellular Carcinoma in Cirrhotic and Non-Cirrhotic Liver Parenchyma., 1 (1), 12–19. *Journal of Surgery and Clinical Reports*. Available at: https://www.researchgate.net/publication/351706093_Journal_of_Surgery_and_Clinical_Reports_Short-and-Long-Term_Outcomes_of_Hepatic_Resection_for_Hepatocellular_Carcinoma_in_Cirrhotic_and_Non-Cirrhotic_Liver_Parenchyma
- Citterio, D., Facciorusso, A., Sposito, C., Rota, R., Bhoori, S., Mazzaferro, V. (2016). Hierarchic Interaction of Factors Associated With Liver Decompensation After Resection for Hepatocellular Carcinoma. *JA-MA Surgery*, 151 (9), 846. <https://doi.org/10.1001/jamasurg.2016.1121>
- Park, S., Davis, A. M., Pillai, A. A. (2024). Prevention, Diagnosis, and Treatment of Hepatocellular Carcinoma. *JAMA*, 332 (12), 1013. <https://doi.org/10.1001/jama.2024.14101>
- Brown, Z. J., Tsilimigras, D. I., Ruff, S. M., Mohseni, A., Kamel, I. R., Cloyd, J. M., Pawlik, T. M. (2023). Management of Hepatocellular Carcinoma. *JAMA Surgery*, 158 (4), 410. <https://doi.org/10.1001/jamasurg.2022.7989>
- Singh, A., Pandey, B. (2016). An Efficient Diagnosis System for Detection of Liver Disease Using a Novel Integrated Method Based on Principal Component Analysis and K-Nearest Neighbor (PCA-KNN). *International Journal of Healthcare Information Systems and Informatics*, 11 (4), 56–69. <https://doi.org/10.4018/ijhisi.2016100103>
- Sartakhti, J. S., Zangoeei, M. H., Mozafari, K. (2012). Hepatitis disease diagnosis using a novel hybrid method based on support vector machine and simulated annealing (SVM-SA). *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 108 (2), 570–579. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2011.08.003>
- Gorunescu, F., Belciug, S., Gorunescu, M., Badea, R. (2012). Intelligent decision-making for liver fibrosis stadialization based on tandem feature selection and evolutionary-driven neural network. *Expert Systems with Applications*, 39 (17), 12824–12832. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.011>
- Li, B. N., Chui, C. K., Chang, S., Ong, S. H. (2012). A new unified level set method for semi-automatic liver tumor segmentation on contrast-enhanced CT images. *Expert Systems with Applications*, 39 (10), 9661–9668. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.02.095>
- Farahi, R., Derakhshanfard, N., Ghaffari, A. (2025). Intelligent Decision Support System for Liver Disease Diagnosis with MLP Network Optimized by Genetic Algorithm. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 18 (1). <https://doi.org/10.1007/s44196-025-01013-0>
- Curtidor, A., Kussul, E., Baydyk, T., Mammadova, M. (2023). Analysis and automated classification of images of blood cells to diagnose acute lymphoblastic leukemia. *EUREKA: Physics and Engineering*, 5, 177–190. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2023.003070>
- Curtidor, A., Mammadova, M., Velasco Herrera, G., Baydyk, T., Kussul, E. (2023). Recognition of images of blood cells using texture and neural networks to diagnose leukemia. *Expert Assessments in Decision Making: Risks and Safety*, 36–65. <https://doi.org/10.21303/978-9916-9850-2-1.ch2>
- Curtidor, A., Baydyk, T., Kussul, E. (2025). Classification based on Neural Networks to Detect Acute Lymphoblastic Leukemia. *Wseas Transactions On Signal Processing*, 21, 25–30. <https://doi.org/10.37394/232014.2025.21.4>
- Schuler, K., Jung, I.-C., Zerlik, M., Hahn, W., Sedlmayr, M., Sedlmayr, B. (2025). Context factors in clinical decision-making: a scoping review. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 25 (1). <https://doi.org/10.1186/s12911-025-02965-1>
- Mirmozaffari, M. (2019). Developing an Expert System for Diagnosing Liver Diseases. *European Journal of Engineering Research and Science*, 4 (3), 1–5. <https://doi.org/10.24018/ejers.2019.4.3.1168>
- Mammadova, M., Bayramov, N., Jabrayilova, Z. (2021). Development of the principles of fuzzy rule-based system for hepatocellular carcinoma staging. *EUREKA: Physics and Engineering*, 3, 3–13. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001829>
- Məmmədova, M. H., Bayramov, N. Y., Cəbrayilova, Z. G., Manaflı, M. İ., Hüseynova, M. R. (2024). Hepatosellülyar karsinomaların diaqnostikası üçün həkim qərarlarının dəstəklənməsi sistemi. *Azerbaijan Medical Journal*, 4, 163–169. <https://doi.org/10.34921/amj.2024.4.026>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.347451

DEVELOPMENT AND INCREASE OF NOISE IMMUNITY OF A MODEL OF BIOMETRIC IDENTIFICATION OF A SPEAKER BASED ON METAL-FREQUENCY CEPSTRAL COEFFICIENTS AND A CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK (p. 37–53)

Muhabbat Khizirova

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2242-7756>

Katipa Chezhibayeva

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1661-2226>

Abdurazak Kassimov

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7270-5577>

Muratbek Yermekbaev

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5051-0047>

Assiya Iskakova

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1695-6803>

Zhaina Abilkaiyr

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6748-428X>

This study is focused on improving the noise robustness of a biometric speaker identification system based on mel-frequency cepstral coefficients (MFCC) and a convolutional neural network (CNN). The object of analysis is the acoustic structure of the Kazakh language under clean and noisy conditions. The experimental database consisted of 16 speakers, each represented by 12 audio recordings with a duration of approximately 1 s. The speech signals were corrupted by additive pink noise with different signal-to-noise ratio (SNR) levels.

Under clean signal conditions, the CNN-based classifier achieved a high recognition accuracy of approximately 96%, as confirmed by the confusion matrix with strong diagonal dominance. When exposed to noise, the classification accuracy decreased to about 69%, demonstrating the significant impact of acoustic interference on speaker identification performance. To improve noise immunity, noise augmentation was applied during training. After retraining on the augmented dataset, the classification accuracy under noisy conditions increased to approximately 89–90%.

The heatmaps of precision, recall, and F1-score demonstrate that after robustness enhancement, most speaker classes achieve stable metric values in the range of 0.85–1.00, while the averaged performance metrics reach accuracy $\approx$ 0.89–0.90, confirming consistent recognition across the entire dataset. The results show that MFCC features retain discriminative speaker-specific spectral characteristics even under noise and that CNN-based classification significantly outperforms traditional approaches in terms of robustness.

The proposed MFCC–CNN approach provides high identification accuracy in clean environments and maintains competitive performance under noise after data augmentation. The obtained results confirm the practical applicability of the developed system for reliable speaker verification in acoustically unstable environments, including remote biometric authentication, access control, and intelligent communication systems.

Keywords: speaker identification, voice biometrics, Kazakh speech, mel-frequency cepstral coefficients, noise.

References

- Ahmad, Kh. M., Zhirkov, V. F. (2007). Introduction to digital processing of speech signals. Vladimir State University Press.
- Beigi, H. (2011). Fundamentals of Speaker Recognition. Springer, 942. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-77592-0>
- Chauhan, N., Isshiki, T., Li, D. (2024). Enhancing Speaker Recognition Models with Noise-Resilient Feature Optimization Strategies. *Acoustics*, 6 (2), 439–469. <https://doi.org/10.3390/acoustics6020024>
- Ming, J., Hazen, T. J., Glass, J. R., Reynolds, D. A. (2007). Robust Speaker Recognition in Noisy Conditions. *IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing*, 15 (5), 1711–1723. <https://doi.org/10.1109/tasl.2007.899278>
- Ji, Z., Cheng, G., Lu, T., Shao, Z. (2024). Speaker recognition system based on MFCC feature extraction CNN architecture. *Academic Journal of Computing & Information Science*, 7 (7). <https://doi.org/10.25236/ajcis.2024.070707>
- From i-vectors to x-vectors – a generational change in speaker recognition illustrated on the NFI-FRIDA database (2019). Oxford Wave Research. Available at: https://oxfordwaveresearch.com/wp-content/uploads/2020/02/IAFPA19_xvectors_Kelly_et_al_presentation.pdf
- Peters, C. A. (2001). Statistics for Analysis of Experimental Data. Environmental Engineering Processes Laboratory Manual. Available at: https://www.researchgate.net/publication/280580217_Statistics_for_Analysis_of_Experimental_Data
- Singh, M. K. (2024). Speaker Identification Using MFCC Feature Extraction ANN Classification Technique. *Wireless Personal Communications*, 136 (1), 453–467. <https://doi.org/10.1007/s11277-024-11282-1>
- Snyder, D., Garcia-Romero, D., Sell, G., Povey, D., Khudanpur, S. (2018). X-Vectors: Robust DNN Embeddings for Speaker Recognition. 2018 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 5329–5333. <https://doi.org/10.1109/icassp.2018.8461375>
- Sumithra, M. G., Thanuskodi, K., Archana, A. H. J. J. (2011). A new speaker recognition system with combined feature extraction techniques. *Journal of Computer Science*, 7(4), 459–465. <https://doi.org/10.3844/jcssp.2011.459.465>
- Uncini, A. (2022). *Digital Audio Processing Fundamentals*. Springer, 716. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-14228-4>
- Zhumay, I., Tumanbayeva, K., Chezhibayeva, K., Kalibek, K. (2025). Forecasting anomalies in network traffic. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (2 (134)), 96–111. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.326779>
- Chezhibayeva, K., Konyrova, M., Kumyzybayeva, S., Kadylbekkyzy, E. (2021). Quality assessment of the contact center while implementation the IP IVR system by using teletraffic theory. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (3 (114)), 64–71. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.244976>
- Nurzhaubayeva, G., Haris, N., Chezhibayeva, K. (2024). Design of the Wearable Microstrip Yagi-Uda Antenna for IoT Applications. *International Journal on Communications Antenna and Propagation (IRECAP)*, 14 (1), 24. <https://doi.org/10.15866/irecap.v14i1.24315>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.341468

DEVELOPMENT OF DEEP LEARNING FRAMEWORK FOR COMPLEX PATTERN RECOGNITION IN BIG DATA (p. 54–66)

Gulzhan Muratova

S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7131-577X>

Ainur Jumagaliyeva

K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8632-5209>

Venera Rystygulova

K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3883-5612>

Elmira Abdykerimova

Caspian State University of Technology and Engineering named after Sh.Yessenov, Aktau, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1447-4077>

Asset Turkmenbayev

Caspian State University of Technology and Engineering named after Sh.Yessenov, Aktau, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7401-6887>

Bulat Serimbetov

K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4675-4388>

Zauresh Yersultanova

U. Sultangazin Pedagogical Institute, Kostanay, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4581-0064>

Gulzada Omarkulova

K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3351-7771>

The object of this study is the process and analysis of intelligent recognition and classification of spatiotemporal patterns in large arrays of streaming data. The problem to be solved is the absence of a deep learning framework that can guarantee adaptability to rapidly changing concepts, efficient computation for continuous data streams, and the transparency of the prediction process when working with heterogeneous and dynamically changing sources of big data used to support decision making.

The developed programing framework applies convolutional neural network- long short – term memory networks with an attention-gating mechanism that enables detection of spatiotemporal dependencies and exhibits model interpretation of decisions. Extensive evaluation of the implemented system using multivariate flow-based data demonstrated the performance capabilities of the system with a classification accuracy of 0.98, F1 score of 0.97, area under the receiver operating characteristic curve of 0.99 and Harmonic Score of 0.90. The interpretation of the results is summarized by the interaction of multilevel feature extraction followed by an optimization process through Kullback-Leibler divergence that ensures reliable online drift detection and automatic models re-training. Additional contributions of the systematic use of the framework included interpretable decisions using Shapley Additive explanations and gradient-weighted class activation mapping visualizations. It has a strong evidence of sustained reliable model performance in non-stationarity data conditions and streaming data. The outcome of this study embodies significant practical implications toward the creation of real-time decision-support systems in domains. Finally, the structured framework can also be utilized for future investigations into the development of highly scalable, explainable, and trust-worthy artificial intelligence architectures.

Keywords: spatiotemporal modeling, hybrid architecture, drift concept, statistical divergence, incremental retraining.

References

1. França, R. P., Borges Monteiro, A. C., Arthur, R., Iano, Y. (2021). An overview of deep learning in big data, image, and signal processing in the modern digital age. *Trends in Deep Learning Methodologies*, 63–87. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-822226-3.00003-9>
2. Ahmed, Y. A. E., Yue, B., Gu, Z., Yang, J. (2023). An overview: Big data analysis by deep learning and image processing. *International Journal of Quantum Information*, 21 (07). <https://doi.org/10.1142/s0219749923400099>
3. Kamyab, H., Khademi, T., Chelliapan, S., SaberiKamarposhti, M., Rezanian, S., Yusuf, M. et al. (2023). The latest innovative avenues for the utilization of artificial Intelligence and big data analytics in water resource management. *Results in Engineering*, 20, 101566. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101566>
4. Paramesha, M., Rane, N., Rane, J. (2024). Big data analytics, artificial intelligence, machine learning, internet of things, and blockchain for enhanced business intelligence. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4855856>
5. Al Ayub Ahmed, A., Rajesh, S., Lohana, S., Ray, S., Maroor, J. P., Naved, M. (2022). Using Machine Learning and Data Mining to Evaluate Modern Financial Management Techniques. *Proceedings of Second International Conference in Mechanical and Energy Technology*, 249–257. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0108-9_26
6. Alzubaidi, L., Bai, J., Al-Sabaawi, A., Santamaria, J., Albahri, A. S., Al-dabbagh, B. S. N. et al. (2023). A survey on deep learning tools dealing with data scarcity: definitions, challenges, solutions, tips, and applications. *Journal of Big Data*, 10 (1). <https://doi.org/10.1186/s40537-023-00727-2>
7. Gheisari, M., Ebrahimzadeh, F., Rahimi, M., Moazzamigodardi, M., Liu, Y., Dutta Pramanik, P. K. et al. (2023). Deep learning: Applications, architectures, models, tools, and frameworks: A comprehensive survey. *CAAI Transactions on Intelligence Technology*, 8 (3), 581–606. <https://doi.org/10.1049/cit2.12180>
8. Azmi, J., Arif, M., Nafis, M. T., Alam, M. A., Tanweer, S., Wang, G. (2022). A systematic review on machine learning approaches for cardiovascular disease prediction using medical big data. *Medical Engineering & Physics*, 105, 103825. <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2022.103825>
9. Zhang, W., Gu, X., Tang, L., Yin, Y., Liu, D., Zhang, Y. (2022). Application of machine learning, deep learning and optimization algorithms in geoengineering and geoscience: Comprehensive review and future challenge. *Gondwana Research*, 109, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2022.03.015>
10. Nguyen, D. K., Sermpinis, G., Stasinakis, C. (2022). Big data, artificial intelligence and machine learning: A transformative symbiosis in favour of financial technology. *European Financial Management*, 29 (2), 517–548. <https://doi.org/10.1111/eufm.12365>
11. Amiri, Z., Heidari, A., Navimipour, N. J., Unal, M., Mousavi, A. (2023). Adventures in data analysis: a systematic review of Deep Learning techniques for pattern recognition in cyber-physical-social systems. *Multimedia Tools and Applications*, 83 (8), 22909–22973. <https://doi.org/10.1007/s11042-023-16382-x>
12. Rane, N., Paramesha, M., Choudhary, S., Rane, J. (2024). Machine Learning and Deep Learning for Big Data Analytics: a Review of Methods and Applications. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4835655>
13. Abutaleb, K. A., Abdelsalam, A. A., Khaled, M. A. (2025). Unleashing Environmental Intelligence Through AI, Image Processing, and Big Data: Paving the Path to a Sustainable Future. *Modelling and Advanced Earth Observation Technologies for Coastal Zone Management*, 315–354. https://doi.org/10.1007/978-3-031-78768-3_12
14. Yedalla, J. (2025). Unmasking insider threats: how big data analytics is revolutionizing cybersecurity defense. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 7 (2). <https://doi.org/10.56726/irjmets67402>
15. Hui, X. (2025). Research on Medical Named Entity Recognition Technology Based on Prompt BioMRC Model for Deep NLP Algorithm. *International Journal of Big Data Intelligent Technology*, 6 (1), 118–125. <https://doi.org/10.38007/ijbdt.2025.060112>
16. Ainur, J., Gulzhan, M., Amandos, T., Venera, R., Bulat, S., Zauresh, Y., Aizhan, S. (2024). The impact of blockchain and artificial intelligence technologies in network security for e-voting. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 14 (6), 6723. <https://doi.org/10.11591/ijece.v14i6.pp6723-6733>
17. Mohapatra, P. (2025). *Intelligent Assurance: Artificial Intelligence-Powered Software Testing in the Modern Development Lifecycle*. Deep Science Publishing. <https://doi.org/10.70593/978-93-7185-046-9>
18. Taha, K. (2025). Machine learning in biomedical and health big data: a comprehensive survey with empirical and experimental insights. *Journal of Big Data*, 12 (1). <https://doi.org/10.1186/s40537-025-01108-7>
19. Yu, T. R., Song, X. (2025). Big Data and Artificial Intelligence in the Banking Industry. *Handbook of Financial Econometrics, Statistics, Technology, and Risk Management*, 3841–3857. https://doi.org/10.1142/9789819809950_0117

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.347659

IMPROVING A METHOD THAT RAPIDLY DETERMINES THE PHANTOMIZATION AREAS IN AN IMAGE ACQUIRED FROM A SPACE-BASED RADAR OBSERVATION SYSTEM (p. 67–76)

Hennadii Khudov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine

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

Oleksandr Makoveichuk

Academician Yuriy Bugay International Scientific
and Technical University, Kyiv, Ukraine

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

Irina Khizhnyak

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3431-7631>

Dmytro Huriev

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2469-0865>

Anatoliy Popov

National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute»,
Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0715-3870>

Serhii Oliynick

National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute»,
Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6073-8531>

Pavlo Malashta

National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute»,
Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2652-1507>

Yaroslav Sydorov

National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute»,
Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4088-2127>

Olexandr Rohulia

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5338-8083>

Maksym Adamchuk

National Academy of the National Guard of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9979-5509>

This work examines the process that determines a phantom area in an image acquired from a space radar observation system. The principal hypothesis of the study assumed that improving a method for defining the phantom area could reduce image processing errors of the first and second kind.

The operational method for determining the phantom area in an image acquired from a space radar observation system has been improved; in it, in contrast to known ones:

- a radar image is represented as a two-dimensional array of pixels whose intensity is determined by the amplitude of the radar signal in grayscale;
- the influence of speckle noise is minimized using convolution with a Gaussian filter;
- the image histogram is aligned to increase contrast;
- the boundaries in the image are selected using a gradient operator;
- the area with the selected boundaries with objects of interest is defined as the phantom area in the image acquired from a space radar observation system.

An experimental study was conducted on the operational determination of the phantom area in an image from a space radar surveillance system. Phantom areas on which objects of interest are located are highlighted in an image from a space radar surveillance system. At the final stage of the improved method for boundary selection, the Sobel, Prewitt, and Roberts operators are considered. The choice of the Roberts operator at the final stage for boundary selection allowed for the following:

- a decrease in processing errors of the first kind: by 2.64% compared to the Sobel operator; by 5.66% compared to the Prewitt operator;
- a reduction of processing errors of the second kind: by 2.4% compared to the Sobel operator; by 4.26% compared to the Prewitt operator.

Keywords: space radar surveillance system, phantom area, errors of the first and second kind.

References

1. Amitrano, D., Di Martino, G., Di Simone, A., Imperatore, P. (2024). Flood Detection with SAR: A Review of Techniques and Datasets. *Remote Sensing*, 16 (4), 656. <https://doi.org/10.3390/rs16040656>
2. Pavlikov, V., Zhyla, S., Pozdniakov, P., Kolesnikov, D., Cherepnin, H., Shmatko, O. et al. (2024). Foundations of radar synthesis theory of phantom objects formation in SAR images. *Radioelectronic and Computer Systems*, 2024 (4), 123–140. <https://doi.org/10.32620/reks.2024.4.11>
3. Hrushko, O., Zhytar, D., Ilkiv, E., Hrynishak, M., Kukhtar, D. (2025). Geospatial Analysis of War-Affected Areas in Ukraine Based on SAR and GIS Technologies. 18th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2025510159>
4. Al-Bayati, M., El-Zaart, A. (2013). Automatic Thresholding Techniques for SAR Images. *Computer Science & Information Technology (CS & IT)*, 75–84. <https://doi.org/10.5121/csit.2013.3308>
5. Tan, J., Tang, Y., Liu, B., Zhao, G., Mu, Y., Sun, M., Wang, B. (2023). A Self-Adaptive Thresholding Approach for Automatic Water Extraction Using Sentinel-1 SAR Imagery Based on OTSU Algorithm and Distance Block. *Remote Sensing*, 15 (10), 2690. <https://doi.org/10.3390/rs15102690>
6. Hillebrand, F. L., Prieto, J. D., Mendes Júnior, C. W., Arigony-Neto, J., Simões, J. C. (2024). Gray Level Co-occurrence Matrix textural analysis for temporal mapping of sea ice in Sentinel-1A SAR images. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 96 (2). <https://doi.org/10.1590/0001-376520240240554>
7. Anusha, N., Vasanth, K., Masurkar, S. P. (2024). Automated Extraction of Textural Features From Segmented Sentinel-1A Synthetic Aperture Radar Satellite Image Using Grey Level Co-Occurrence Matrix. *Procedia Computer Science*, 235, 2124–2134. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.04.201>
8. Zhai, Y., Liu, K., Piuri, V., Ying, Z., Xu, Y. (2016). SAR automatic target recognition based on K-means and data augmentation. *Proceedings of the 2016 International Conference on Intelligent Information Processing*, 1–6. <https://doi.org/10.1145/3028842.3028894>
9. Chen, Z., Cong, B., Hua, Z., Cengiz, K., Shabaz, M. (2021). Application of clustering algorithm in complex landscape farmland synthetic aperture radar image segmentation. *Journal of Intelligent Systems*, 30 (1), 1014–1025. <https://doi.org/10.1515/jisys-2021-0096>
10. Qin, J., Liu, Z., Ran, L., Xie, R., Tang, J., Zhu, H. (2023). An SAR Image Automatic Target Recognition Method Based on the Scattering Parameter Gaussian Mixture Model. *Remote Sensing*, 15 (15), 3800. <https://doi.org/10.3390/rs15153800>
11. Ma, F., Gao, F., Sun, J., Zhou, H., Hussain, A. (2019). Weakly Supervised Segmentation of SAR Imagery Using Superpixel and Hierarchically Adversarial CRF. *Remote Sensing*, 11 (5), 512. <https://doi.org/10.3390/rs11050512>
12. Yin, J., Liu, X., Yang, J., Chu, C.-Y., Chang, Y.-L. (2020). PolSAR Image Classification Based on Statistical Distribution and MRF. *Remote Sensing*, 12 (6), 1027. <https://doi.org/10.3390/rs12061027>
13. Hu, G. C., Zhao, Q. H. (2017). G0-WISHART distribution based classification from polarimetric sar images. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, IV-2/W4, 451–455. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-iv-2-w4-451-2017>

14. Carvalho, E. A., Ushizima, D. M., Medeiros, F. N. S., Martins, C. I. O., Marques, R. C. P., Oliveira, I. N. S. (2010). SAR imagery segmentation by statistical region growing and hierarchical merging. *Digital Signal Processing*, 20 (5), 1365–1378. <https://doi.org/10.1016/j.dsp.2009.10.014>
15. Guo, Z., Wu, L., Huang, Y., Guo, Z., Zhao, J., Li, N. (2022). Water-Body Segmentation for SAR Images: Past, Current, and Future. *Remote Sensing*, 14 (7), 1752. <https://doi.org/10.3390/rs14071752>
16. Bao, L., Lv, X., Yao, J. (2021). Water Extraction in SAR Images Using Features Analysis and Dual-Threshold Graph Cut Model. *Remote Sensing*, 13 (17), 3465. <https://doi.org/10.3390/rs13173465>
17. Li, M., Zou, H., Qin, X., Dong, Z., Sun, L., Wei, J. (2023). Superpixel Generation for Polarimetric SAR Images with Adaptive Size Estimation and Determinant Ratio Test Distance. *Remote Sensing*, 15 (4), 1123. <https://doi.org/10.3390/rs15041123>
18. Li, K., Zhang, M., Xu, M., Tang, R., Wang, L., Wang, H. (2022). Ship Detection in SAR Images Based on Feature Enhancement Swin Transformer and Adjacent Feature Fusion. *Remote Sensing*, 14 (13), 3186. <https://doi.org/10.3390/rs14133186>
19. Zhao, K., Lu, R., Wang, S., Yang, X., Li, Q., Fan, J. (2023). ST-YOLOA: a Swin-transformer-based YOLO model with an attention mechanism for SAR ship detection under complex background. *Frontiers in Neurobotics*, 17. <https://doi.org/10.3389/fnbot.2023.1170163>
20. Dewi, N. P. K., Suputra, P. H., Paramartha, A. A. G. Y., Dewi, L. J. E., Varnakovidia, P., Aryanto, K. Y. E. (2025). River Area Segmentation Using Sentinel-1 SAR Imagery with Deep-Learning Approach. *Geomatics and Environmental Engineering*, 19 (4), 39–63. <https://doi.org/10.7494/geom.2025.19.4.39>
21. Ruban, I., Makoveichuk, O., Khudov, V., Khudov, H., Khizhnyak, I., Yuzova, I., Drob, Y. (2019). The Method for Selecting the Urban Infrastructure Objects Contours. 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), 689–693. <https://doi.org/10.1109/picst47496.2019.9061267>
22. Ruban, I., Khudov, H., Makoveichuk, O., Khudov, V., Kalimulin, T., Glukhov, S. et al. (2022). Methods of UAVs images segmentation based on k-means and a genetic algorithm. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (118)), 30–40. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263387>
23. Khudov, H., Makoveichuk, O., Khizhnyak, I., Shamrai, B., Glukhov, S., Lunov, O. et al. (2022). The Method for Determining Informative Zones on Images from On-Board Surveillance Systems. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 12 (8), 61–69. https://doi.org/10.46338/ijetae0822_08
24. Khudov, H., Khudov, R., Khizhnyak, I., Hridasov, I., Hlushchenko, P. (2025). The small aerial objects segmentation method on optical-electronic images based on the sobel edge detector. *Advanced Information Systems*, 9 (2), 5–10. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2025.2.01>
25. Rafael, C., Gonzalez, R. E. W. (2002). *Digital Image Processing*. Prentice Hall, 793. Available at: <https://www.amazon.com/Digital-Image-Processing-Rafael-Gonzalez/dp/0201180758>
26. Sentinel-1. Available at: <https://sentinels.copernicus.eu/copernicus/sentinel-1>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.348368

DEVELOPMENT OF IMAGE ENCRYPTION METHOD USING SURJECTIVE FINITE AUTOMATA AND CUSTOM S-BOX WITHIN THE ADVANCED ENCRYPTION STANDARD FRAMEWORK (p. 77–99)

Alibek Barlybayev

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana,
Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0188-5336>

Zhanat Saukhanova

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana,
Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9812-7736>

Gulmira Shakhmetova

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana,
Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2067-7444>

Altynbek Sharipbay

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana,
Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5334-1253>

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 object of the study is the AES-128 (Advanced Encryption Standard) – based image-encryption scheme. The problem solved is the persistence of residual image structure and sub-ideal statistical security when classical AES is naively applied to visual data. The generated cipher images yield near-maximal entropy with low pixel correlations and uniform histograms. Encrypted-image Chi-square values concentrate around 200–310 (close to a uniform distribution), the NPCR (Number Of Changing Pixel Rate) consistently 99.623–99.657% with a best case 99.6547%, and the UACI (Unified Averaged Changed Intensity) $\approx 33.64\%$ per channel (RGB combined $\approx 22\%$). Robustness tests show ≈ 30.7 dB at 50% cropping and ≈ 39.5 – 39.7 dB at 0.01 salt-and-pepper noise and 6.25% cropping. These outcomes are explained by the bit-level, state-dependent permutations introduced by the surjective automaton (boosting diffusion) and by the nonlinear S-box synthesized under strict criteria (e.g., bounded differential uniformity, high nonlinearity) that heighten confusion, and operation in CBC (Cipher Block Chaining) mode supplies semantic security. Other unique features that facilitate the solution are the substituting of ShiftRows/MixColumns with surjective finite automata; a custom, criteria-optimized S-box; and a 10-round AES-128 CBC pipeline with a random. Taking all of this together yielding observed statistical uniformity, a high NPCR/UACI, and stable robustness under degradation. Lastly, the findings demonstrate the applicability to secure multimedia transmission and storage in channels prone to noise or partial data loss, and being data-agnostic, that the transformations can generalize to text and generic binary data when carefully managed.

Keywords: image encryption, surjective finite automaton, custom S-box, AES.

References

1. Chahar, S. (2024). Exploring the future trends of cryptography. *Next Generation Mechanisms for Data Encryption*, 234–257. <https://doi.org/10.1201/9781003508632-16>
2. Kong, J. H., Ang, L.-M., Seng, K. P. (2015). A comprehensive survey of modern symmetric cryptographic solutions for resource constrained environments. *Journal of Network and Computer Applications*, 49, 15–50. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2014.09.006>
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 The-

- ory. The Eurasia Proceedings of Science Technology Engineering and Mathematics, 26, 19–25. <https://doi.org/10.55549/epstem.1409285>
4. 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>
 5. Salami, Y., Khajevand, V., Zeinali, E. (2023). Cryptographic algorithms: A review of the literature, weaknesses and open challenges. *Journal of Computer & Robotics*, 2 (16), 63–115. <http://dx.doi.org/10.22094/JCR.2023.1983496.1298>
 6. Hospodár, M., Jirásková, G. (2024). Conversions Between Six Models of Finite Automata. *International Journal of Foundations of Computer Science*, 36(03), 321–344. <https://doi.org/10.1142/s0129054124430020>
 7. 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>
 8. 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
 9. 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>
 10. 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>
 11. Khatua, K., Chattopadhyay, S., Dhar, A. S. (2025). Performance evaluation for accelerated and efficient prediction of different regression models aggravated with BPSO for enhancing area efficiency through state encoding in sequential circuits. *Swarm and Evolutionary Computation*, 95, 101919. <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2025.101919>
 12. Srilakshmi, S. (2012). On finite state machines and recursive functions application to cryptosystems. Anantapuram. Available at: <https://shodhganga.inflibnet.ac.in/handle/10603/11436>
 13. Meskanen, T. (2001). On finite automaton public key cryptosystems. Turku Centre for Computer Science. Available at: <https://www.finna.fi/Record/utu.998871095405971>
 14. 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>
 15. 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>
 16. 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>
 17. Seitkulov, Y., Ospanov, R., Tashatov, N., Eraliyeva, B., Sisenov, N. (2023). Software tool for analysis and synthesis of cryptographic S-boxes. *KazATC Bulletin*, 126 (3), 257–266. <https://doi.org/10.52167/1609-1817-2023-126-3-257-266>
 18. Ospanov, R., Seitkulov, Y., Eraliyeva, B. (2022). Generalized algebraic method for constructing 8-bit Rijndael S-block. *KazATC Bulletin*, 120 (1), 156–163. <https://doi.org/10.52167/1609-1817-2022-120-1-156-163>
 19. Zheng, D., Alkawaz, M. H., Johar, M. G. M. (2025). Privacy protection and data security in intelligent recommendation systems. *Neural Computing and Applications*, 37 (34), 28431–28448. <https://doi.org/10.1007/s00521-025-11189-3>
 20. Xu, X., Song, X., Liu, S., Zhou, N., Wang, M. (2025). New 2D hyper-chaotic Cubic-Tent map and improved 3D Hilbert diffusion for image encryption. *Applied Intelligence*, 55 (7). <https://doi.org/10.1007/s10489-025-06414-4>
 21. Dougherty, S. T., Klobusicky, J., Şahinkaya, S., Ustun, D. (2023). An S-Box construction from exponentiation in finite fields and its application in RGB color image encryption. *Multimedia Tools and Applications*, 83 (14), 41213–41241. <https://doi.org/10.1007/s11042-023-17046-6>
 22. Norouzi, B., Mirzakuchaki, S., Seyedzadeh, S. M., Mosavi, M. R. (2012). A simple, sensitive and secure image encryption algorithm based on hyper-chaotic system with only one round diffusion process. *Multimedia Tools and Applications*, 71 (3), 1469–1497. <https://doi.org/10.1007/s11042-012-1292-9>
 23. Dokku, N. S., David Amar Raj, R., Bodapati, S. K., Pallakonda, A., Reddy, Y. R. M., Krishna Prakasha, K. (2025). Resilient cybersecurity in smart grid ICS communication using BLAKE3-driven dynamic key rotation and intrusion detection. *Scientific Reports*, 15 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-17530-z>
 24. Khan, M. A., Sharif, M., Akram, T., Raza, M., Saba, T., Rehman, A. (2020). Hand-crafted and deep convolutional neural network features fusion and selection strategy: An application to intelligent human action recognition. *Applied Soft Computing*, 87, 105986. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105986>
 25. Zhang, H., Wu, Q. J., Nguyen, T. M. (2013). Incorporating Mean Template Into Finite Mixture Model for Image Segmentation. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 24 (2), 328–335. <https://doi.org/10.1109/tnnls.2012.2228227>
 26. 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>
 27. Ullah, A., Jamal, S. S., Shah, T. (2017). A novel scheme for image encryption using substitution box and chaotic system. *Nonlinear Dynamics*, 91 (1), 359–370. <https://doi.org/10.1007/s11071-017-3874-6>
 28. Abdul, Y., Ramasamy, V., Kukaram, G., Boulaaras, S., Alharbi, A. (2025). A dynamic image encryption scheme through 2-D cellular automata and chaotic logistic map. *Scientific Reports*, 15 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-21225-w>
 29. Sharmila, S., Bhuvaneswaran, R. S., Vaithyanathan, D. (2025). Secure image encryption using Rubik's Cube-based scrambling with chaos-driven diffusion and circular shifts. *Optik*, 339, 172533. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2025.172533>
 30. Hadžić, V., Bloem, R. (2024). Efficient and Composable Masked AES S-Box Designs Using Optimized Inverters. *IACR Transactions on Cryptographic Hardware and Embedded Systems*, 2025 (1), 656–683. <https://doi.org/10.46586/tches.v2025.i1.656-683>
 31. Sharma, P. L., Gupta, S., Nayyar, A., Harish, M., Gupta, K., Sharma, A. K. (2024). ECC based novel color image encryption methodology using primitive polynomial. *Multimedia Tools and Applications*, 83 (31), 76301–76340. <https://doi.org/10.1007/s11042-024-18245-5>
 32. Kaushik, P., Attkan, A. (2021). A Chaotic and Hyperchaotic Map based Image Encryption Protocol for High-End Colour density Images using enhanced S-box pixel permutator. 2021 2nd International Conference on Computational Methods in Science & Technology (IC-CMST), 174–180. <https://doi.org/10.1109/iccmst54943.2021.00045>
 33. Hermassi, H., Rhouma, R., Belghith, S. (2011). Improvement of an image encryption algorithm based on hyper-chaos. *Telecommunication Systems*. <https://doi.org/10.1007/s11235-011-9459-7>
 34. Ye, G., Wong, K.-W. (2012). An efficient chaotic image encryption algorithm based on a generalized Arnold map. *Nonlinear Dynamics*, 69 (4), 2079–2087. <https://doi.org/10.1007/s11071-012-0409-z>
 35. Song, C.-Y., Qiao, Y.-L., Zhang, X.-Z. (2013). An image encryption scheme based on new spatiotemporal chaos. *Optik - International*

- Journal for Light and Electron Optics, 124 (18), 3329–3334. <https://doi.org/10.1016/j.jileo.2012.11.002>
36. Zeng, J., Wang, C. (2021). A Novel Hyperchaotic Image Encryption System Based on Particle Swarm Optimization Algorithm and Cellular Automata. *Security and Communication Networks*, 2021, 1–15. <https://doi.org/10.1155/2021/6675565>
 37. Liu, H., Wang, X. (2011). Color image encryption using spatial bit-level permutation and high-dimension chaotic system. *Optics Communications*, 284 (16-17), 3895–3903. <https://doi.org/10.1016/j.optcom.2011.04.001>
 38. Su, Y., Tang, C., Chen, X., Li, B., Xu, W., Lei, Z. (2017). Cascaded Fresnel holographic image encryption scheme based on a constrained optimization algorithm and Henon map. *Optics and Lasers in Engineering*, 88, 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2016.07.012>
 39. Abdullah, A. H., Enayatifar, R., Lee, M. (2012). A hybrid genetic algorithm and chaotic function model for image encryption. *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, 66 (10), 806–816. <https://doi.org/10.1016/j.aeue.2012.01.015>
 40. Abbasi, A. A., Mazinani, M., Hosseini, R. (2020). Evolutionary-based image encryption using biomolecules operators and non-coupled map lattice. *Optik*, 219, 164949. <https://doi.org/10.1016/j.jileo.2020.164949>
 41. Mahmud, M., Atta-ur-Rahman, Lee, M., Choi, J.-Y. (2020). Evolutionary-based image encryption using RNA codons truth table. *Optics & Laser Technology*, 121, 105818. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2019.105818>
 42. Ghaz, A., Seddiki, A., Nouioua, N. (2022). Comparative Study of Encryption Algorithms Applied to the IOT. *The Eurasia Proceedings of Science Technology Engineering and Mathematics*, 21, 469–476. <https://doi.org/10.55549/epstem.1226679>
 43. Ahmad, M., Alam, M. Z., Umayya, Z., Khan, S., Ahmad, F. (2018). An image encryption approach using particle swarm optimization and chaotic map. *International Journal of Information Technology*, 10 (3), 247–255. <https://doi.org/10.1007/s41870-018-0099-y>
 44. Kaur, M., Kumar, V. (2018). Beta Chaotic Map Based Image Encryption Using Genetic Algorithm. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 28 (11), 1850132. <https://doi.org/10.1142/s0218127418501328>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.348570

REDUCING THE LEVEL OF MESSAGE COMPROMISE IN INFORMATION TRANSMISSION SYSTEMS TO VIRTUAL PRIVATE CLOUDS USING SHAMIR'S SCHEME (p. 100–113)

Artem Marchuk

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8149-5958>

Tetiana Kovalenko

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5928-9476>

Svitlana Shtangey

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9200-3959>

Olena Linnyk

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4906-3796>

This study investigates processes of message transmission via the Internet to a virtual private cloud using Shamir's scheme.

The evolution of the infocommunication infrastructure has led to an increase in the role of cloud services. As a result, the requirements for information protection along the paths of message delivery to the clouds are increasing.

The task addressed is to reduce the probability of compromising messages transmitted by a communication system.

The parameters of the information transmission system that affect the probability of compromise of messages transmitted to the virtual private cloud have been studied. The most vulnerable elements in the communication system were found. To practically implement the Shamir scheme via the Internet, the possibilities of using existing routing technologies were studied.

For information transmission systems with ideal nodes, the overall level of compromise significantly depends on the probability of compromise of one path element, especially for remote clouds. An increase in the probability of compromise on a single hop from 0.03 to 0.1 for 10 hops in a three-path system leads to an increase in the total compromise from 0.02 to 0.28.

Protecting intermediate nodes from attacks is critical for remote clouds. With 10 hops in a three-way communication system, the overall probability of compromise increases fourfold from 0.02 to 0.08 with the same impact of an individual node and hop.

Protecting end nodes for a communication system is of significant importance compared to nodes along the paths. The probability of compromise of end nodes, equal to 0.1, gives an increase in the total level of compromise from 0.03 to 0.21.

Keywords: probability of message compromise, Shamir's secret distribution method, virtual private cloud.

References

1. ISO/IEC 27011:2024. Information security, cybersecurity and privacy protection – Information security controls based on ISO/IEC 27002 for telecommunications organizations. Available at: <https://www.iso.org/standard/80584.html>
2. ISO/IEC 27033-1:2024. Information technology - Security techniques - Network security - Part 1: Overview and concepts. Available at: <https://www.evs.ee/en/evs-iso-iec-27033-1-2024>
3. Shamir, A. (1979). How to share a secret. *Communications of the ACM*, 22 (11), 612–613. <https://doi.org/10.1145/359168.359176>
4. Lemesko, O. V., Yeremenko, O. S., Yevdokymenko, M. O., Kovalenko, T. M. (2021). Metodyka rozrakhunku ymovirnosti komprometatsiyi konfidentsiynykh povidomlen pry bezpechniy marshrutyzatsiyi v infokomunikatsiynykh merezhakh z vykorystanniam shliakhiv, yaki peretynaiutsia. *Problemy telekomunikatsiy*, 2 (29), 15–27. Available at: https://pt.nure.ua/wp-content/uploads/2021/12/212_lemeshko_confidential.pdf
5. Lemesko, O., Yeremenko, O., Yevdokymenko, M., Shapovalova, A., Sleiman, B. (2022). Modeliuvannia ta optymizatsiya protsesiv bezpechnoi ta vidmovostiyoiki marshrutyzatsiyi v telekomunikatsiynykh merezhakh. *Kharkiv: KhNURE*, 198. <https://doi.org/10.30837/978-966-659-378-1>
6. Kato, T., Cheng, S., Yamamoto, R., Ohzahata, S., Suzuki, N. (2018). Proposal and study on implementation of data eavesdropping protection method over Multipath TCP communication using data scrambling and path dispersion. *International Journal on Advances in Security*, 11 (1&2), 118–126. Available at: https://personales.upv.es/thinkmind/dl/journals/sec/sec_v11_n12_2018/sec_v11_n12_2018_9.pdf
7. Dani, V., Nagar, S., Pawar, V. (2022). An Analysis of Multipath TCP for Improving Network Performance. *Innovations in Bio-Inspired Computing and Applications*, 160–169. https://doi.org/10.1007/978-3-030-96299-9_16
8. Popat, K., Kapadia, V. V. (2021). Multipath TCP Security Issues, Challenges and Solutions. *Information, Communication and Computing Technology*, 18–32. https://doi.org/10.1007/978-3-030-88378-2_2

9. Chaturvedi, R. K., Chand, S. (2020). Multipath TCP security over different attacks. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 31 (9). <https://doi.org/10.1002/ett.4081>
10. Veni, S., Kadhar Nawaz, G. M. (2013). A new Approach to Enhance Security in MPLS network. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 13 (2). Available at: <https://scispace.com/pdf/a-new-approach-to-enhance-security-in-mpls-network-3wmck-uoafr.pdf>
11. Alouneh, S., Agarwal, A., En-Nouaary, A. (2009). A novel path protection scheme for MPLS networks using multi-path routing. *Computer Networks*, 53 (9), 1530–1545. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2009.02.001>
12. Ridwan, M. A., Radzi, N. A. M., Wan Ahmad, W. S. H. M., Abdullah, F., Jamaludin, Md. Z., Zakaria, M. N. (2020). Recent trends in MPLS networks: technologies, applications and challenges. *IET Communications*, 14 (2), 177–185. <https://doi.org/10.1049/iet-com.2018.6129>
13. Čuřík, P., Ploszek, R., Zajac, P. (2022). Practical Use of Secret Sharing for Enhancing Privacy in Clouds. *Electronics*, 11 (17), 2758. <https://doi.org/10.3390/electronics11172758>
14. Naz, M., Al-zahrani, F. A., Khalid, R., Javaid, N., Qamar, A. M., Afzal, M. K., Shafiq, M. (2019). A Secure Data Sharing Platform Using Blockchain and Interplanetary File System. *Sustainability*, 11 (24), 7054. <https://doi.org/10.3390/su11247054>
15. Leon-Garcia, A. (2022). *Probability, Statistics, and Random Processes for Electrical Engineering*. Pearson, 650. Available at: <https://www.goodreads.com/book/show/24331653-probability-statistics-and-random-processes-for-electrical-engineering>
16. Ross, S. M. (1997). *Introduction to Probability Models*. Academic Press. 702. <https://www-elec.inaoep.mx/~rogerio/IntrodProbabModels.pdf>
17. Grimmett, G., Stirzaker, D. (2020). *Probability and Random Processes*. Oxford University Press, 688. Available at: <https://global.oup.com/academic/product/probability-and-random-processes-9780198847595?cc=ua&lang=en&>
18. Types of Static Routes Explained. Available at: <https://www.computernetworkingnotes.com/ccna-study-guide/types-of-static-routes-explained.html>
19. Static Routing vs. Dynamic Routing: What's the Difference? (2025). Available at: <https://www.indeed.com/career-advice/career-development/dynamic-routing-vs-static-routing>
20. MPLS Configuration Guide, Cisco IOS XE 17.x. Available at: https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/routers/ios/config/17-x/mps/b-mpls/m_mp-te-autotunnel-0.html
21. Monge, A. S., Szarkowicz, K. G. (2015). *MPLS in the SDN Era*. O'RELLY, 920.
22. Song L. (2022). *Set Up Your Own IPsec VPN, OpenVPN and WireGuard Server (Build Your Own VPN)*. Amazon, 147. Available at: <https://www.amazon.com/IPsec-OpenVPN-WireGuard-Server-Build/dp/B0BQ99KH38>
23. Bhalerao, V., Sarode, S. (2021). A Review Paper on MPLS L3 VPNs Architecture. *International Journal of Scientific and Research Publications (IJSRP)*, 11 (6), 524–527. <https://doi.org/10.29322/ij-srp.11.06.2021.p11469>
24. Goransson, P., Black, C. (2014). *Software Defined Networks. A Comprehensive Approach*. Elsevier, 436. <https://doi.org/10.1016/c2013-0-00167-3>
25. ECMP. Available at: <https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/security/cdo/cloud-delivered-firewall-management-center-in-cdo/managing-firewall-threat-defense-services-with-cisco-defense-orchestrator/m-routing-ecmp.pdf>
26. Equal Cost Multipath Load Sharing - Hardware ECMP. Docs Hub. Available at: <https://docs.nvidia.com/networking-ethernet-software/cumulus-linux-44/Layer-3/Routing/Equal-Cost-Multipath-Load-Sharing-Hardware-ECMP/>
27. AWS networking and content delivery. Additional ECMP Paths. Available at: <https://000092.awsstudygroup.com/4-transitgatewayandvpn/4.4-ecmppaths/>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.345894

DEVELOPMENT OF A SECURITY SYSTEM ORGANIZATION MODEL TAKING INTO ACCOUNT THE IMPACT OF THE EXTERNAL ENVIRONMENT (p. 114–124)

Nataliia Dzheniuk

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
Kharkiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0758-7935>

Viktor Zaika

State University of Information and Communication Technologies,
Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2394-4317>

Serhii Yevseiev

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
Kharkiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1647-6444>

Yevhen Tarasenko

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
Kharkiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0506-6997>

Artem Moskalenko

International Scientific and Technical University named after
academician Yuriy Buga, Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7433-3105>

Vitalii Kryvosheiev

National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6073-5549>

Serhii Kravchenko

National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8188-3113>

Serhii Holdobin

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

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2056-0071>

Artur Ismahilov

Institute of Software Systems of the National Academy of Sciences
of Ukraine, Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1332-8147>

Ihor Syvachenko

Institute of Software Systems of the National Academy of Sciences
of Ukraine, Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0009-0005-3248-3371>

The object of this study is the process of ensuring the security of cyber-physical systems under the influence of external destructive factors, in particular information, radio-electronic, and physical attacks aimed at disrupting continuous system operation. The paper addresses the problem of determining the optimal structure of an airborne mobile network within a cyber-physical system, specifically the ratio between operational and protective elements that ensures maximum system stability under targeted attacks. The presented modeling results are based on a minimax formulation of the interaction between the system and the external environment, which makes it possible to determine critical threshold values of stability parameters.

The applied mathematical model describes both the optimal strategy of the attacking environment and the optimal initial structure of the system itself. This enables the identification of relationships between the initial ratio of operational and protective components and the minimum adversary resources required for complete system destruction. It is shown that an optimal configuration of protective elements forces the attacking environment to expend 1.5–2 times more resources compared to suboptimal structures. A correctly selected ratio of system elements slows down the degradation of the protective contour. The developed mathematical model confirms the existence of an optimal strategy for external environment behavior and an optimal initial structure of the airborne mobile network of the cyber-physical system. This approach improves the design process of cyber-physical systems at early stages, enhances their survivability, and contributes to the development of a methodology for integrated protection of airborne mobile networks under challenging real-world conditions.

Keywords: cyber-physical systems, unmanned aerial vehicles, mobile wireless network, protective elements.

References

- Graf, S., Quinton, S., Girault, A., Gössler, G. (2018). Building Correct Cyber-Physical Systems: Why We Need a Multiview Contract Theory. *Formal Methods for Industrial Critical Systems*, 19–31. https://doi.org/10.1007/978-3-030-00244-2_2
- Bereket Abera, Y., Naudet, Y., Panetto, H. (2020). A new Paradigm and Meta-Model for Cyber-Physical-Social Systems. *IFAC-PapersOnLine*, 53 (2), 10949–10954. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.2841>
- Kampourakis, V., Gkioulos, V., Katsikas, S. (2023). A systematic literature review on wireless security testbeds in the cyber-physical realm. *Computers & Security*, 133, 103383. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2023.103383>
- Tyagi, A. K., Sreenath, N. (2021). Cyber Physical Systems: Analyses, challenges and possible solutions. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, 1, 22–33. <https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2021.12.002>
- Yaacoub, J.-P., Noura, H., Salman, O., Chehab, A. (2020). Security analysis of drones systems: Attacks, limitations, and recommendations. *Internet of Things*, 11, 100218. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100218>
- Lee, E. (2015). The Past, Present and Future of Cyber-Physical Systems: A Focus on Models. *Sensors*, 15 (3), 4837–4869. <https://doi.org/10.3390/s150304837>
- Duo, W., Zhou, M., Abusorrah, A. (2022). A Survey of Cyber Attacks on Cyber Physical Systems: Recent Advances and Challenges. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 9 (5), 784–800. <https://doi.org/10.1109/jas.2022.105548>
- Zuo, Z., Liu, C., Han, Q.-L., Song, J. (2022). Unmanned Aerial Vehicles: Control Methods and Future Challenges. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 9 (4), 601–614. <https://doi.org/10.1109/jas.2022.105410>
- Yevseiev, S., Melenti, Y., Voitko, O., Hrebenuik, V., Korchenko, A., Mykus, S. et al. (2021). Development of a concept for building a critical infrastructure facilities security system. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (9 (111)), 63–83. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.233533>
- Lombardi, M., Vannuccini, S. (2022). Understanding emerging patterns and dynamics through the lenses of the cyber-physical universe. *Patterns*, 3 (11), 100601. <https://doi.org/10.1016/j.patter.2022.100601>
- Tariq, U., Ahmed, I., Bashir, A. K., Shaukat, K. (2023). A Critical Cybersecurity Analysis and Future Research Directions for the Internet of Things: A Comprehensive Review. *Sensors*, 23 (8), 4117. <https://doi.org/10.3390/s23084117>
- Zhao, H. (2022). Multi-view Design Pour Cyber-physical Systems. *Université Côte d'Azur*, 170.
- Greer, C., Burns, M., Wollman, D., Griffior, E. (2019). Cyber-physical systems and internet of things. *National Institute of Standards and Technology*. <https://doi.org/10.6028/nist.sp.1900-202>
- Ayass, T., Coqueiro, T., Carvalho, T., Jailton, J., Araújo, J., Francês, R. (2022). Unmanned aerial vehicle with handover management fuzzy system for 5G networks: challenges and perspectives. *Intelligence & Robotics*. <https://doi.org/10.20517/ir.2021.07>
- Serkov, A., Jammine, A., Kudii, D., Nataliia, D., Farid, N.-A., Bogan, L. (2023). Security Models and Methods of Socio-Cyberphysical Systems. 2023 7th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT), 1–6. <https://doi.org/10.1109/ismsit58785.2023.10304955>
- Khan, M. A., Kumar, N., Alsamhi, S. H., Barb, G., Zywiotek, J., Ullah, I. et al. (2025). Security and Privacy Issues and Solutions for UAVs in B5G Networks: A Review. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 22 (1), 892–912. <https://doi.org/10.1109/tnsm.2024.3487265>
- Tsao, K.-Y., Girdler, T., Vassilakis, V. G. (2022). A survey of cyber security threats and solutions for UAV communications and flying ad-hoc networks. *Ad Hoc Networks*, 133, 102894. <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2022.102894>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.339774

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ВИМІРЮВАННЯ ВІДСТАНІ З ВИКОРИСТАННЯМ ПІДХОДУ ЗБІЛЬШЕННЯ ТА МОДИФІКАЦІЇ АРХІТЕКТУРИ YOLOV3 (с. 6–15)

Herdianto Herdianto, Poltak Sihombing, Fahmi Fahmi, Tulus Tulus

Визначення найкращої моделі для вимірювання відстані до об'єкта, відповідної формули для цієї моделі та модифікації архітектури YOLOv3 є предметом цього дослідження. Це було зроблено для вирішення проблеми похибок вимірювання відстані до об'єкта за допомогою монокулярної камери. У цьому дослідженні дослідники використали підхід збільшення та модифікували архітектуру YOLOv3, яка тоді отримала назву Hybrid Dist – YOLOv3. Запропонована модель вимірювання відстані не використовує змінні висоти камери та відстані зсуву камери, тому вона все ще може вимірювати об'єкти, які вищі за висоту камери, а час вимірювання є швидшим. Єдиною змінною у формулі вимірювання відстані є зміна висоти зображення об'єкта. Що стосується модифікацій архітектури YOLOv3, існує два типи навчальних та тестових даних: початкові дані вимірювань та дані з KITTI. Навчальні дані з початкових вимірювань склалися з трьох класів, а саме: людина, пляшка та канистра, з 24, 10 та 10 вибірок відповідно. Точність виявлення при $mAP_{0.50}$ становить 0.994, 1.1, з абсолютними значеннями похибки вимірювання (ϵ_A) –0.274, –0.153 та –0.163. Для навчальних даних KITTI є три класи об'єктів, а саме: пішохід, автомобіль та вантажівка, з 1150, 7682 та 318 вибірок відповідно. Згідно з проведеними тестами, значення ϵ_A для класів пішохід, автомобіль та вантажівка показують покращення порівняно з попереднім дослідженням, яке спочатку становило 1.75, 2.49 та 4.63, до 1.37, 2.25 та 3.74. Результати цього дослідження можуть бути застосовані в автомобільній промисловості для систем допомоги водієві (СДВ), футбольних робіт або подібних систем, що потребують вимірювання відстані.

Ключові слова: об'єкт виявлення, оцінка відстані, СДВ, монокулярна камера, YOLO, Hybrid Dist.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.346938

РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТА ЕНЕРГЕТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ДЛЯ СТРАТОСФЕРНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ДИРИЖАБЛІВ (с. 16–27)

Ainur Kuttybayeva, Samal Zhamalova, Mukhit Abdullayev, Gaziz Zhampeisso, Kalmukhamed Tazhen, Anar Khabay, Aigul Orazymbetova, Askar Kanzhar, Tatyana Mechsheryakova, Vladimir Domrachev

Об'єктом дослідження є автономна висотна платформа для дирижабля. Цей тип висотної платформи призначений для тривалої телекомунікаційної ретрансляції на висотах 18–25 км. Основна проблема полягає в недостатній стабільності польоту на висоті стратосфери та обмежених енергетичних можливостях літальних апаратів. Для вирішення проблем розроблено інтегровану інтелектуальну систему керування та енергоменеджменту. Ця архітектура в портативному вигляді включає сенсорний модуль, мікроконтролер STM32, телеметричний канал LoRa, математичну модель динаміки з урахуванням підйомної сили, аеродинамічного опору, зовнішніх факторів та атмосферних параметрів, а найголовніше – запропоновано гібридний адаптивний PID-нечіткий контролер. Додатково запропоновано модель енергетичного балансу, яка безпосередньо взаємодіє із сонячними панелями, енергоспоживанням приводів та роботою від акумулятора. Отримані дані моделювання показують, що використання PID-нечіткого контролера забезпечує значне підвищення стабільності роботи платформи. Час переходу скорочується на 44,4%, максимальне відхилення від заданої висоти та траєкторії польоту зменшується на 56,5%, а середнє споживання енергії приводом зменшується на 20–22%. Модель енергетичного балансу демонструє, що розроблена система здатна зберігати до 46% заряду акумулятора після 24 годин роботи, що на 18% вище порівняно з системою без адаптивного управління енергією.

Практичне значення проекту полягає в можливості використання розробленої системи в складі автономних телекомунікаційних мереж, аеростатів, системи екстреного зв'язку, дистанційного зондування Землі, а також в елементах перспективних мереж 6G та NTN.

Ключові слова: висотні платформні системи, дирижаблі, PID-нечіткий, LoRa, MatLab, аеродинамічне моделювання, управління енергією.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.347800

РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ДЛЯ ВИБОРУ ЛІКУВАННЯ ГЕПАТОЦЕЛЮЛЯРНОЇ КАРЦИНОМИ (с. 28–36)

Masuma Mammadova, Nuru Bayramov, Zarifa Jabrayilova, Tetyana Baydyk, Mehriban Huseynova

Об'єктом дослідження є процес прийняття клінічних рішень щодо вибору методу лікування гепатоцелюлярної карциноми (ГЦК) на основі медичних даних пацієнта. Процес вибору методу лікування ГЦК залишається слабо формалізованим та характеризується багатокритеріальністю та наявністю численних клінічних ситуацій, для кожної з яких необхідно оперативно визначити найточніше терапевтичне рішення.

У цьому дослідженні розроблено інтелектуальну систему підтримки медичних рішень щодо вибору методу лікування ГЦК на основі знань, що застосовуються в клінічній практиці.

У ньому запропоновано архітектурні та функціональні принципи інтелектуальної системи підтримки рішень, що класифікує клінічні ситуації за методом лікування ГЦК, що складається з кількох можливих комбінацій 44 інформативних параметрів. На основі поточних значень цих параметрів експертні знання перетворюються на продукційні правила, що визначають методи лікування ГЦК.

На основі аналізу продукційних правил відповідно до поточних значень параметрів розроблено евристичну процедуру вибору лікування, яка відтворює моделі міркувань учасників міждисциплінарної ради під час їхнього процесу прийняття консенсусних рішень щодо призначення лікування ГЦК. Програмна реалізація моделі прийняття рішень щодо вибору лікування ГЦК, реалізована на C# з використанням платформи Visual Studio 2019, дозволила інтеграцію інтелектуальної системи з веб-технологіями.

Інтелектуальна система підтримки медичних рішень автоматизує унікальний досвід фахівців та допомагає лікарям у багатопрофільній консультації приймати оперативні та обґрунтовані рішення онлайн щодо призначення персоналізованої терапії. Система була пілотована з лікарями-експертами в кількох ітераціях, доки не було досягнуто повної відповідності між консенсусним рішенням багатопрофільної ради та рішенням, прийнятим розробленою системою відповідно до клінічних рекомендацій.

Ключові слова: гепатоцелюлярна карцинома, вибір лікування, інтелектуальна система підтримки рішень, база знань.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.347451

РОЗРОБКА ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ ШУМОВОЇ ІМУНІТЕТНОСТІ МОДЕЛІ БІОМЕТРИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ГОВОРУ НА ОСНОВІ MFCC ТА CNN (с. 37–53)

Muhabbat Khizirova, Katipa Chezhimbayeva, Abdurazhak Kassimov, Muratbek Yermekbaev, Assiya Iskakova, Zhaina Abilkaiyr

Це дослідження зосереджено на покращенні стійкості до шуму біометричної системи ідентифікації мовця на основі мел-частотних кепстральних коефіцієнтів (MFCC) та згорткової нейронної мережі (CNN). Об'єктом аналізу є акустична структура казахської мови в чистих та шумних умовах. Експериментальна база даних складалася з 16 мовців, кожен з яких був представлений 12 аудіозаписами тривалістю приблизно 1 с. Мовленнєві сигнали були спотворені адитивним рожевим шумом з різними рівнями співвідношення сигнал/шум (SNR).

В умовах чистого сигналу класифікатор на основі CNN досяг високої точності розпізнавання приблизно 96%, що підтверджується матрицею плутанини з сильним діагональним домінуванням. Під впливом шуму точність класифікації знизилася приблизно до 69%, що демонструє значний вплив акустичних перешкод на ефективність ідентифікації мовця. Для покращення завадостійкості під час навчання було застосовано шумове посилення. Після повторного навчання на доповненому наборі даних точність класифікації в шумних умовах зросла приблизно до 89–90%.

Теплові карти точності, повноти та F1-оцінки демонструють, що після підвищення робустності більшість класів мовців досягають стабільних значень метрик у діапазоні 0,85–1,00, тоді як усереднені метрики продуктивності досягають точності $\approx 0,89$ –0,90, що підтверджує послідовне розпізнавання по всьому набору даних. Результати показують, що ознаки MFCC зберігають специфічні для мовця спектральні характеристики навіть за шуму, і що класифікація на основі CNN значно перевершує традиційні підходи з точки зору робастності.

Запропонований підхід MFCC–CNN забезпечує високу точність ідентифікації в чистих середовищах та підтримує конкурентоспроможну продуктивність за шуму після доповнення даних. Отримані результати підтверджують практичну застосовність розробленої системи для надійної верифікації мовця в акустично нестабільних середовищах, включаючи дистанційну біометричну автентифікацію, контроль доступу та інтелектуальні системи зв'язку.

Ключові слова: ідентифікація мовця, голосова біометрія, казахське мовлення, мел-частотні кепстральні коефіцієнти, шум.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.341468

РОЗРОБКА МЕТОДУ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ СКЛАДНИХ ШАБЛОНІВ У ВЕЛИКИХ ДАНИХ (с. 54–66)

Gulzhan Muratova, Ainur Jumagaliyeva, Venera Rystygulova, Elmira Abdykerimova, Asset Turkmenbayev, Bulat Serimbetov, Zauresh Yersultanova, Gulzada Omarkulova

Об'єктом цього дослідження є процес та аналіз інтелектуального розпізнавання та класифікації просторово-часових шаблонів у великих масивах потокових даних. Проблема, яку необхідно вирішити, полягає у відсутності системи глибокого навчання, яка може гарантувати адаптивність до швидкозмінних концепцій, ефективне обчислення для безперервних потоків даних та прозорість процесу прогнозування під час роботи з гетерогенними та динамічно змінними джерелами великих даних, що використовуються для підтримки прийняття рішень.

Розроблена система програмування використовує згорткову нейронну мережу з довгою короткочасною пам'яттю та механізмом контролю уваги, що дозволяє виявляти просторово-часові залежності та демонструє модельну інтерпретацію рішень. Широка оцінка реалізованої системи з використанням багатовимірних потокових даних продемонструвала можливості системи з точністю класифікації 0,98, показником F1 0,97, площею під кривою робочої характеристики приймача 0,99 та показником гармоніки 0,90. Інтерпре-

тація результатів підсумована взаємодією багаторівневого вилучення ознак, а потім процесом оптимізації за допомогою дивергенції Кульбака-Лейблера, що забезпечує надійне онлайн-виявлення дрейфу та автоматичне перенавчання моделей. Додатковий внесок систематичного використання фреймворку включав інтерпретовані рішення з використанням адитивних пояснень Шеплі та візуалізацій карт активації класів з градієнтною вагою. Це має вагомі докази стійкої надійної роботи моделі в умовах нестаціонарності даних та потокових даних. Результати цього дослідження мають значні практичні наслідки для створення систем підтримки прийняття рішень у реальному часі в предметних областях. Нарешті, структурований фреймворк також може бути використаний для майбутніх досліджень розробки високомасштабованих, гідних надій та надійних архітектур штучного інтелекту.

Ключові слова: просторово-часове моделювання, гібридна архітектура, концепція дрейфу, статистична дивергенція, поступове перенавчання.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.347659

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ОПЕРАТИВНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ДІЛЯНКИ ФАНТОМІЗАЦІЇ НА ЗОБРАЖЕННІ З КОСМІЧНОЇ СИСТЕМИ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ (с. 67–76)

Г. В. Худов, О. М. Маковейчук, І. А. Хижняк, Д. О. Гур'єв, А. В. Попов, С. В. Олійник, П. П. Малашга, Я. Д. Сидоров, О. В. Рогуля, М. М. Адамчук

Об'єктом дослідження є процес визначення ділянки фантомізації на зображенні з космічної системи радіолокаційного спостереження. Основна гіпотеза дослідження полягала в тому, що удосконалення методу визначення ділянки фантомізації дозволить зменшити помилки обробки зображення першого та другого роду.

Удосконалено метод оперативного визначення ділянки фантомізації на зображенні з космічної системи радіолокаційного спостереження, в якому, на відміну від відомих:

- радіолокаційне зображення представлено у вигляді двомірного масиву пікселів, інтенсивність яких визначається амплітудою радіолокаційного сигналу в градаціях сірого;
- проводиться мінімізація впливу спекл-шуму за допомогою згортання з гаусовським фільтром;
- проводиться вирівнювання гістограми зображення з метою підвищення контрасту;
- проводиться виділення границь на зображенні градієнтним оператором;
- область з виділеними границями з об'єктами інтересу визначається як ділянка фантомізації на зображенні з космічної системи радіолокаційного спостереження.

Проведено експериментальне дослідження щодо оперативного визначення ділянки фантомізації на зображенні з космічної системи радіолокаційного спостереження. На зображенні з космічної системи радіолокаційного спостереження виділені ділянки фантомізації, на яких розташовані об'єкти інтересу. На заключному етапі удосконаленого методу для виділення границь розглянуто оператори Собеля, Прюїтта та Робертса. Вибір на заключному етапі для виділення границь оператору Робертса дозволив:

- знизити помилки обробки першого роду: на 2,64% у порівнянні з застосуванням оператору Собеля, на 5,66% у порівнянні з оператором Прюїтта;

- знизити помилки обробки другого роду: на 2,4% у порівнянні з оператором Собеля, на 4,26% у порівнянні з оператором Прюїтта.

Ключові слова: космічна система радіолокаційного спостереження, ділянка фантомізації, помилка першого, другого роду.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.348368

РОЗРОБКА МЕТОДУ ШИФРУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ СУР'ЄКТИВНИХ СКІНЧЕННИХ АВТОМАТІВ ТА ВИКОРИСТУВАЛЬНОГО S-БОКСУ В РАМКАХ РОЗШИРЕНОГО СТАНДАРТУ ШИФРУВАННЯ (с. 77–99)

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

Об'єктом дослідження є схема шифрування зображень на основі AES-128 (Advanced Encryption Standard). Розглядається проблема збереження залишкової структури зображення та субідеальної статистичної/диференціальної безпеки, коли класичне AES наївно застосовується до візуальних даних. Запропонований метод дає зашифровані зображення з майже максимальною ентропією та низькими кореляціями пікселів з рівномірними гістограмами. Значення χ^2 -квадрат зашифрованих зображень концентруються приблизно в межах 200–310 (близько до рівномірного розподілу), NPCR (Number Of Changing Pixel Rate) стабільно становить 99,623–99,657% з найкращим випадком 99,6547%, а UACI (Unified Averaged Changed Intensity) $\approx$ 33,64% на канал (RGB разом $\approx$ 22%). Тести на робастність показують $\approx$ 30,7 дБ при 50% кадруванні та $\approx$ 39,5–39,7 дБ при 0,01 шуму «сіль-перець» та 6,25% кадруванні. Ці результати пояснюються бітовими, залежними від стану перестановками, введеними сюр'єктивним автоматом (підвищення дифузії), та нелінійним S-боксом, синтезованим за суворими критеріями (наприклад, обмежена диференціальна однорідність, висока нелінійність), що посилює плутанину, а робота в режимі CBC (Cipher Block Chaining) забезпечує семантичну безпеку. Відмінні особливості, що забезпечують це рішення, включають: заміну ShiftRows/MixColumns на сюр'єктивний автомат; користувацький, оптимізований за критеріями S-бокс; та 10-раундовий конвеєр AES-128 CBC на випадковий. Разом вони забезпечують спостережувану статистичну однорідність, високий NPCR/UACI та стабільний робастність при деградації. Зрештою, результати вказують на застосовність для безпечної передачі та збе-

рігання мультимедіа в каналах, схильних до шуму або часткової втрати даних, а також, оскільки перетворення не залежать від даних, узагальнення до тексту та загальних двійкових даних за умови належного керування.

Ключові слова: шифрування зображень, сюр'єктивний скінченний автомат, користувацький S-блок, AES.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.348570

ЗМЕНШЕННЯ РІВНЯ КОМПРОМЕТАЦІЇ ПОВІДОМЛЕНЬ В СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ ДО ВІРТУАЛЬНИХ ПРИВАТНИХ ХМАР З ВИКОРИСТАННЯМ СХЕМИ ШАМІРА (с. 100–113)

А. В. Марчук, Т. М. Коваленко, С. В. Штангей, О. В. Лінник

Об'єктом дослідження є процеси передачі повідомлень через мережу Інтернет до віртуальної приватної хмари з використанням схеми Шаміра.

Еволюція інфокомунікаційної інфраструктури призвела до підвищення ролі хмарних сервісів. І як наслідок, зростають вимоги до захисту інформації на шляхах доставки повідомлень до хмар. Вирішувалась проблема зменшення ймовірності компрометації повідомлень, що передаються системою зв'язку.

Досліджені параметри системи передачі інформації, що впливають на ймовірність компрометації повідомлень, які передаються до віртуальної приватної хмари. Знайдені найбільш вразливі елементи системи зв'язку. Для практичної реалізації схеми Шаміра через мережу Інтернет досліджені можливості застосування існуючих технологій маршрутизації.

Для систем передачі інформації з ідеальними вузлами загальний рівень компрометації суттєво залежить від ймовірності компрометації одного елемента шляху, особливо для віддалених хмар. Зростання ймовірності компрометації на одному хопі з 0,03 до 0,1 для 10 хопів в системі з трьома шляхами приводить до росту загальної компрометації з 0,02 до 0,28.

Захист проміжних вузлів від атак є критично важливим для віддалених хмар. При 10 хопів в системі зв'язку з трьома шляхами загальна ймовірність компрометації збільшується в чотири рази з 0,02 до 0,08 при однаковому впливі окремого вузла і хопу.

Захист кінцевих вузлів для системи зв'язку має суттєве значення в порівнянні з вузлами вздовж шляхів. Ймовірність компрометації кінцевих вузлів, що дорівнює 0,1, дає збільшення загального рівня компрометації з 0,03 до 0,21.

Ключові слова: ймовірність компрометації повідомлення, метод розподілу секретів Шаміра, віртуальна приватна хмара.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.345894

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ОРГАНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ БЕЗПЕКИ З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ ЗОВНІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА (с. 114–124)

Н. В. Дженюк, В. Ф. Заїка, С. П. Євсєєв, Є. В. Тарасенко, А. О. Москаленко, В. В. Кривошеєв, С. О. Кравченко, С. М. Голдобін, А. І. Ісмаїлов, І. О. Сиваченко

Об'єктом дослідження є процес забезпечення безпеки кіберфізичних систем в умовах впливу зовнішніх деструктивних факторів, зокрема інформаційних, радіоелектронних та фізичних атак, спрямованих на порушення безперервного функціонування системи. У роботі досліджено проблему визначення оптимальної структури повітряної мобільної мережі кіберфізичної системи, зокрема співвідношення між робочими та захисними елементами, яке забезпечує максимальну стійкість системи за умов цілеспрямованих атак. Наведені результати моделювання ґрунтуються на мінімакській постановці взаємодії між системою та зовнішнім середовищем, що дозволяє визначити критичні порогові значення параметрів стійкості.

Застосована математична модель описує як оптимальну стратегію дій атакуючого середовища, так і оптимальну первинну структуру самої системи. Це дає змогу встановити залежності між початковим співвідношенням робочих і захисних компонентів та мінімальним ресурсом противника, необхідним для повного руйнування системи.

Показано, що оптимальна конфігурація захисних елементів змушує атакуюче середовище витратити у 1.5–2 рази більше ресурсу порівняно з підоптимальними структурами. Правильно обране співвідношення елементів системи уповільнює руйнування її захисного контуру. Розроблена математична модель довела існування оптимальної стратегії поведінки зовнішнього середовища та оптимальної первинної структури повітряної мобільної мережі кіберфізичної системи. Такий підхід дозволить покращити процес проектування кіберфізичних систем на ранніх стадіях, забезпечити їх підвищену живучість, а також сприяти формуванню методології інтегрованого захисту повітряних мобільних мереж у складних умовах реального середовища.

Ключові слова: кіберфізичні системи, безпілотні літальні апарати, мобільна безпроводна мережа, захисні елементи.