

ABSTRACT AND REFERENCES
INFORMATION AND CONTROLLING SYSTEM

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.305685

CONSTRUCTION OF A NETWORK INTRUSION DETECTION SYSTEM BASED ON A CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK AND A BIDIRECTIONAL GATED RECURRENT UNIT WITH ATTENTION MECHANISM (p. 6–15)

Andrii Nikitenko

Donetsk National Technical University, Luts'k, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1363-2324>

Yevhen Bashkov

Donetsk National Technical University, Luts'k, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6974-4882>

The object of this study is the process of recognizing intrusions in computer networks. Network intrusion detection systems (NIDS) have become an important area of research as they are used to protect computer systems from hacker attacks. Deep learning is becoming increasingly popular for detecting and classifying malicious network traffic, including for building NIDS.

In this paper, we propose a network intrusion detection model CNN-BiGRU-Attention based on a time-based approach to deep learning using the attention mechanism. The main goal of the study is to build an effective combined deep learning model that can detect various network cyber threats.

A 1D convolutional neural network is implemented to extract high-level representations of intrusion information features. A bidirectional gated recurrent unit (BiGRU) with an attention mechanism for traffic data classification has been designed. The attention mechanism plays a key role in the constructed model as it allows the system to focus only on important aspects of network traffic and allows the model to adapt to new types of threats.

The results of the study show that using a combination of CNN and BiGRU with the attention mechanism speeds up and improves the process of classifying network attacks. On the NSL-KDD and UNSW-NB15 training datasets, the model shows an accuracy of 99.81 % and 97.80 %. On the NSL-KDD and UNSW-NB15 test datasets, the model demonstrates 82.16 % and 97.72 % accuracy.

The proposed NIDS model will be considered for implementation in a real-time corporate network security system.

In general, the results of the study provide a new perspective on improving the performance of NIDS and are quite relevant in terms of using attention mechanisms to classify network traffic.

Keywords: deep learning, combined model, network intrusion detection systems, attention mechanism.

References

- Boukhalfa, A., Abdellaoui, A., Hmina, N., Chaoui, H. (2020). LSTM deep learning method for network intrusion detection system. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 10 (3), 3315. <https://doi.org/10.11591/ijece.v10i3.pp3315-3322>
- Ahmad, Z., Shahid Khan, A., Wai Shiang, C., Abdullah, J., Ahmad, F. (2020). Network intrusion detection system: A systematic study of machine learning and deep learning approaches. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 32 (1). <https://doi.org/10.1002/ett.4150>
- Kumar, S., Gupta, S., Arora, S. (2021). Research Trends in Network-Based Intrusion Detection Systems: A Review. *IEEE Access*, 9, 157761–157779. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3129775>
- Aldweesh, A., Derhab, A., Emam, A. Z. (2020). Deep learning approaches for anomaly-based intrusion detection systems: A survey, taxonomy, and open issues. *Knowledge-Based Systems*, 189, 105124. <https://doi.org/10.1016/j.knsys.2019.105124>
- Thirimanne, S. P., Jayawardana, L., Yasakethu, L., Liyanaarachchi, P., Hewage, C. (2022). Deep Neural Network Based Real-Time Intrusion Detection System. *SN Computer Science*, 3 (2). <https://doi.org/10.1007/s42979-022-01031-1>
- Qazi, E. U. H., Almorjan, A., Zia, T. (2022). A One-Dimensional Convolutional Neural Network (1D-CNN) Based Deep Learning System for Network Intrusion Detection. *Applied Sciences*, 12 (16), 7986. <https://doi.org/10.3390/app12167986>
- Zhang, J., Ling, Y., Fu, X., Yang, X., Xiong, G., Zhang, R. (2020). Model of the intrusion detection system based on the integration of spatial-temporal features. *Computers & Security*, 89, 101681. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2019.101681>
- Rajesh Kanna, P., Santhi, P. (2021). Unified Deep Learning approach for Efficient Intrusion Detection System using Integrated Spatial–Temporal Features. *Knowledge-Based Systems*, 226, 107132. <https://doi.org/10.1016/j.knsys.2021.107132>
- Khan, F. A., Gumaiei, A., Derhab, A., Hussain, A. (2019). TSDL: A Two-Stage Deep Learning Model for Efficient Network Intrusion Detection. *IEEE Access*, 7, 30373–30385. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2899721>
- Binbusayyis, A., Vaiyapuri, T. (2021). Unsupervised deep learning approach for network intrusion detection combining convolutional autoencoder and one-class SVM. *Applied Intelligence*, 51 (10), 7094–7108. <https://doi.org/10.1007/s10489-021-02205-9>
- Hnamte, V., Hussain, J. (2023). DCNNBiLSTM: An Efficient Hybrid Deep Learning-Based Intrusion Detection System. *Telematics and Informatics Reports*, 10, 100053. <https://doi.org/10.1016/j.teler.2023.100053>
- Sinha, J., Manollas, M. (2020). Efficient Deep CNN-BiLSTM Model for Network Intrusion Detection. *Proceedings of the 2020 3rd International Conference on Artificial Intelligence and Pattern Recognition*. <https://doi.org/10.1145/3430199.3430224>
- Cao, B., Li, C., Song, Y., Fan, X. (2022). Network Intrusion Detection Technology Based on Convolutional Neural Network and BiGRU. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, 1–20. <https://doi.org/10.1155/2022/1942847>
- Gu, J., Wang, Z., Kuen, J., Ma, L., Shahroudy, A., Shuai, B. et al. (2018). Recent advances in convolutional neural networks. *Pattern Recognition*, 77, 354–377. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2017.10.013>
- Song, Y., Luktarhan, N., Shi, Z., Wu, H. (2023). TGA: A Novel Network Intrusion Detection Method Based on TCN, BiGRU and Attention Mechanism. *Electronics*, 12 (13), 2849. <https://doi.org/10.3390/electronics12132849>
- Li, X. (2023). CNN-GRU model based on attention mechanism for large-scale energy storage optimization in smart grid. *Frontiers in Energy Research*, 11. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1228256>
- Yu, X., Li, T., Hu, A. (2020). Time-series Network Anomaly Detection Based on Behaviour Characteristics. *2020 IEEE 6th Inter-*

- national Conference on Computer and Communications (ICCC). <https://doi.org/10.1109/iccc51575.2020.9345249>
18. Liu, X., Liu, J. (2021). Malicious traffic detection combined deep neural network with hierarchical attention mechanism. *Scientific Reports*, 11 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91805-z>
 19. Huang, Y., Chen, J., Zheng, S., Xue, Y., Hu, X. (2021). Hierarchical multi-attention networks for document classification. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 12 (6), 1639–1647. <https://doi.org/10.1007/s13042-020-01260-x>
 20. Nikitenko, A. (2023). Datasets for creating intrusion detection systems using neural networks. *Proceedings of the XLI Scientific and Technical Conference of Young Scientists and Specialists of the Pukhov Institute for Modeling Problems in Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 104–106. Available at: <https://ipme.kiev.ua/wp-content/uploads/2023/05/%D0%9C%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%96%D0%B0%D0%BB%D0%B8-%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D1%96%D1%97-2023.pdf>
 21. The UNSW-NB15 Dataset. Available at: <https://research.unsw.edu.au/projects/unswnb15-dataset>
 22. Nikitenko, A. (2023). Network intrusion detection systems based on deep learning neural networks. *Scientific papers of DonNTU. Series: "Informatics, Cybernetics and Computer Science"*, 2 (37), 15–21.
 23. ISCX NSL-KDD dataset 2009. Available at: <https://www.unb.ca/cic/datasets/nsl.html>
 24. Xiao, Y., Xiao, X. (2019). An Intrusion Detection System Based on a Simplified Residual Network. *Information*, 10 (11), 356. <https://doi.org/10.3390/info10110356>
 25. Cao, B., Li, C., Song, Y., Qin, Y., Chen, C. (2022). Network Intrusion Detection Model Based on CNN and GRU. *Applied Sciences*, 12 (9), 4184. <https://doi.org/10.3390/app12094184>
 26. Ren, K., Yuan, S., Zhang, C., Shi, Y., Huang, Z. (2023). CANET: A hierarchical CNN-Attention model for Network Intrusion Detection. *Computer Communications*, 205, 170–181. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2023.04.018>
 27. Marir, N., Wang, H., Feng, G., Li, B., Jia, M. (2018). Distributed Abnormal Behavior Detection Approach Based on Deep Belief Network and Ensemble SVM Using Spark. *IEEE Access*, 6, 59657–59671. <https://doi.org/10.1109/access.2018.2875045>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.306522

DETECTION AND CLASSIFICATION OF THREATS AND VULNERABILITIES ON HACKER FORUMS BASED ON MACHINE LEARNING (p. 16–27)

Saken Mambetov

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty,
Republic of Kazakhstan,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7249-5378>

Yenlik Begimbayeva

AUPET named after Gumarbek Daukeyev, Almaty,
Republic of Kazakhstan
Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4907-3345>

Oleksandr Gurko

Kharkiv National Automobile and Highway University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9905-8584>

Hanna Doroshenko

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5535-8494>

Serik Joldasbayev

International IT University, Almaty,
Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8689-1822>

Olena Fridman

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7437-6372>

Bakytzhan Kulambayev

Turan University, Almaty,
Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9279-6239>

Vitalina Babenko

Kharkiv National Automobile and Highway University,
Kharkiv, Ukraine

Daugavpils University, Daugavpils, Latvia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4816-4579>

Ihor Ilhe

Kharkiv National Automobile and Highway University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0585-8685>

Serhii Neronov

Kharkiv National Automobile and Highway University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2381-1271>

The object of this study is the process of detecting threats and vulnerabilities in hacker forums, which are a well-known source of potential dangers for Internet users. However, the problem of analyzing and classifying data from these forums is its complexity due to such features of the participants' language as specific slang, jargon, etc., which requires the use of modern tools of their processing. This paper explores the application of machine learning to devise an effective method for analyzing sentiment and trends in hacker forums to identify potential threats and vulnerabilities in cyberspace. All necessary stages of the process of detecting threats and vulnerabilities have been developed, ranging from data collection and preprocessing to the training of a model that is capable of processing "raw" unstructured data from hacker forums. The implementation of six popular machine learning algorithms, namely k Nearest Neighbors (kNN), Random Forest, Naive Bayes, Logistic Regression, Support Vector Machines (SVM), and Decision Tree algorithms have been studied with a view to determining their efficiency of threat and vulnerability detection and classification. The experiments have been conducted on real data (150,000 messengers). It has been determined that the Random Forest algorithm coped with the task the best (accuracy=0.89, recall=0.84, precision=0.91, F1-score=0.87 and ROC-AUC=0.89). The proposed tool based on machine learning not only collects data that poses a potential threat but also processes and classifies it according to the specified keywords. This allows detecting threats and vulnerabilities at a high speed. The results of the study make it possible to identify potential trends in threats and vulnerabilities. This will contribute to the improvement of cybersecurity systems and ensure more reliable protection of information resources.

Keywords: cybersecurity, hacker forum, threats identification, data classification, machine learning.

References

1. Mambetov, S., Begimbayeva, Y., Joldasbayev, S., Kazbekova, G. (2023). Internet threats and ways to protect against them: A brief re-

- view. 2023 13th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering (Confluence). <https://doi.org/10.1109/confluence56041.2023.10048858>
2. Dhake, B., Shetye, C., Borhade, P., Gawas, D., Nerurkar, A. (2023). Stratification of Hacker Forums and Predicting Cyber Assaults for Proactive Cyber Threat Intelligence. 2023 2nd International Conference on Paradigm Shifts in Communications Embedded Systems, Machine Learning and Signal Processing (PCEMS). <https://doi.org/10.1109/pcems58491.2023.10136033>
 3. Leukfeldt, E. R., Kleemans, E. R., Stol, W. P. (2016). Cybercriminal Networks, Social Ties and Online Forums: Social Ties Versus Digital Ties within Phishing and Malware Networks. *British Journal of Criminology*, azw009. <https://doi.org/10.1093/bjc/azw009>
 4. Shakarian, J., Gunn, A. T., Shakarian, P. (2016). Exploring Malicious Hacker Forums. *Cyber Deception*, 259–282. https://doi.org/10.1007/978-3-319-32699-3_11
 5. Mikhaylov, A., Frank, R. (2016). Cards, Money and Two Hacking Forums: An Analysis of Online Money Laundering Schemes. 2016 European Intelligence and Security Informatics Conference (EISIC). <https://doi.org/10.1109/eisic.2016.021>
 6. Abbasi, A., Li, W., Benjamin, V., Hu, S., Chen, H. (2014). Descriptive Analytics: Examining Expert Hackers in Web Forums. 2014 IEEE Joint Intelligence and Security Informatics Conference. <https://doi.org/10.1109/jisic.2014.18>
 7. Zhang, X., Li, C. (2013). Survival analysis on hacker forums. SIG-BPS workshop on business processes and service, 106–110.
 8. Tariq, E., Akour, I., Al-Shanableh, N., Alquqa, E. K., Alzboun, N., Al-Hawary, S. I. S., Alshurideh, M. T. (2024). How cybersecurity influences fraud prevention: An empirical study on Jordanian commercial banks. *International Journal of Data and Network Science*, 8 (1), 69–76. <https://doi.org/10.5267/j.ijdns.2023.10.016>
 9. Karuna, P., Purohit, H., Jajodia, S., Ganesan, R., Uzuner, O. (2021). Fake Document Generation for Cyber Deception by Manipulating Text Comprehensibility. *IEEE Systems Journal*, 15 (1), 835–845. <https://doi.org/10.1109/jsyst.2020.2980177>
 10. Rebafka, T. (2023). Model-based clustering of multiple networks with a hierarchical algorithm. *Statistics and Computing*, 34 (1). <https://doi.org/10.1007/s11222-023-10329-w>
 11. Fu, T., Abbasi, A., Chen, H. (2010). A focused crawler for Dark Web forums. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 61 (6), 1213–1231. <https://doi.org/10.1002/asi.21323>
 12. McAlaney, J., Kimpton, E., Thackeray, H. (2019). Fifty shades of grey hat: A socio-psychological analysis of conversations on hacking forums. *CyPsy24: Annual CyberPsychology, CyberTherapy & Social Networking Conference*. Available at: <https://eprints.bournemouth.ac.uk/32495>
 13. McAlaney, J., Hambidge, S., Kimpton, E., Thackray, H. (2020). Knowledge is power: An analysis of discussions on hacking forums. 2020 IEEE European Symposium on Security and Privacy Workshops (EuroS&PW). <https://doi.org/10.1109/eurospw51379.2020.00070>
 14. Lacey, D., Salmon, P. M. (2015). It's Dark in There: Using Systems Analysis to Investigate Trust and Engagement in Dark Web Forums. *Lecture Notes in Computer Science*, 117–128. https://doi.org/10.1007/978-3-319-20373-7_12
 15. Benjamin, V., Valacich, J. S., Chen, H. (2019). DICE-E: A Framework for Conducting Darknet Identification, Collection, Evaluation with Ethics. *MIS Quarterly*, 43 (1), 1–22. <https://doi.org/10.25300/misq/2019/13808>
 16. Zhang, Y., Fan, Y., Ye, Y., Zhao, L., Wang, J., Xiong, Q., Shao, F. (2018). KADetector: Automatic Identification of Key Actors in Online Hack Forums Based on Structured Heterogeneous Information Network. 2018 IEEE International Conference on Big Knowledge (ICBK). <https://doi.org/10.1109/icbk.2018.00028>
 17. Park, A. J., Frank, R., Mikhaylov, A., Thomson, M. (2018). Hackers Hedging Bets: A Cross-Community Analysis of Three Online Hacking Forums. 2018 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining (ASONAM). <https://doi.org/10.1109/asonam.2018.8508613>
 18. Macdonald, M., Frank, R., Mei, J., Monk, B. (2015). Identifying Digital Threats in a Hacker Web Forum. *Proceedings of the 2015 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining 2015*. <https://doi.org/10.1145/2808797.2808878>
 19. Frank, R., Macdonald, M., Monk, B. (2016). Location, Location, Location: Mapping Potential Canadian Targets in Online Hacker Discussion Forums. 2016 European Intelligence and Security Informatics Conference (EISIC). <https://doi.org/10.1109/eisic.2016.012>
 20. Du, P.-Y., Zhang, N., Ebrahimi, M., Samtani, S., Lazarine, B., Arnold, N. et al. (2018). Identifying, Collecting, and Presenting Hacker Community Data: Forums, IRC, Carding Shops, and DNMs. 2018 IEEE International Conference on Intelligence and Security Informatics (ISI). <https://doi.org/10.1109/isi.2018.8587327>
 21. Joldasbayev, S., Sapakova, S., Zhaksylyk, A., Kulambayev, B., Armankyzy, R., Bolysbek, A. (2023). Development of an Intelligent Service Delivery System to Increase Efficiency of Software Defined Networks. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 14 (12). <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2023.0141267>
 22. Balakayeva, G., Ezhilchelvan, P., Makashev, Y., Phillips, C., Darkenbayev, D., Nurlybayeva, K. (2023). Digitalization of enterprise with ensuring stability and reliability. *Informatyka, Automatyka, Pomiar w Gospodarce i Ochronie Środowiska*, 13 (1), 54–57. <https://doi.org/10.35784/iapgos.3295>
 23. Balakayeva, G., Zhanuzakov, M., Kalmenova, G. (2023). Development of a digital employee rating evaluation system (DERES) based on machine learning algorithms and 360-degree method. *Journal of Intelligent Systems*, 32 (1). <https://doi.org/10.1515/jisys-2023-0008>
 24. Balakayeva, G., Darkenbayev, D., Zhanuzakov, M. (2023). Development of a software system for predicting employee ratings. *Informatyka, Automatyka, Pomiar w Gospodarce i Ochronie Środowiska*, 13 (3), 121–124. <https://doi.org/10.35784/iapgos.3723>
 25. Joldasbayev, S., Balakayeva, G., Joldasbayev, O. (2020). Application of load balancing algorithms to improve the quality of service delivery using modifications of the least connections algorithm. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 98 (12), 2063–2077. Available at: <http://www.jatit.org/volumes/Vol98No12/7Vol98No12.pdf>
 26. Huang, C., Guo, Y., Guo, W., Li, Y. (2021). HackerRank: Identifying key hackers in underground forums. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 17 (5), 155014772110151. <https://doi.org/10.1177/15501477211015145>
 27. Samtani, S., Chinn, R., Chen, H. (2015). Exploring hacker assets in underground forums. 2015 IEEE International Conference on Intelligence and Security Informatics (ISI). <https://doi.org/10.1109/isi.2015.7165935>
 28. Benjamin, V., Li, W., Holt, T., Chen, H. (2015). Exploring threats and vulnerabilities in hacker web: Forums, IRC and carding shops. 2015 IEEE International Conference on Intelligence and Security Informatics (ISI). <https://doi.org/10.1109/isi.2015.7165944>
 29. Deliu, I., Leichter, C., Franke, K. (2018). Collecting Cyber Threat Intelligence from Hacker Forums via a Two-Stage, Hybrid Process

- using Support Vector Machines and Latent Dirichlet Allocation. 2018 IEEE International Conference on Big Data (Big Data). <https://doi.org/10.1109/bigdata.2018.8622469>
30. Anand, M., Sahay, K. B., Ahmed, M. A., Sultan, D., Chandan, R. R., Singh, B. (2023). Deep learning and natural language processing in computation for offensive language detection in online social networks by feature selection and ensemble classification techniques. *Theoretical Computer Science*, 943, 203–218. <https://doi.org/10.1016/j.tcs.2022.06.020>
 31. Sultan, D., Omarov, B., Kozhamkulova, Z., Kazbekova, G., Al-imzhanova, L., Dautbayeva, A. et al. (2023). A Review of Machine Learning Techniques in Cyberbullying Detection. *Computers, Materials & Continua*, 74 (3), 5625–5640. <https://doi.org/10.32604/cmc.2023.033682>
 32. Biswas, B., Mukhopadhyay, A., Bhattacharjee, S., Kumar, A., Delen, D. (2022). A text-mining based cyber-risk assessment and mitigation framework for critical analysis of online hacker forums. *Decision Support Systems*, 152, 113651. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2021.113651>
 33. Williams, R., Samtani, S., Patton, M., Chen, H. (2018). Incremental Hacker Forum Exploit Collection and Classification for Proactive Cyber Threat Intelligence: An Exploratory Study. 2018 IEEE International Conference on Intelligence and Security Informatics (ISI). <https://doi.org/10.1109/isi.2018.8587336>
 34. Benjamin, G. (2021). What we do with data: a performative critique of data “collection.” *Internet Policy Review*, 10 (4). <https://doi.org/10.14763/2021.4.1588>
 35. Jain, S., de Buitleir, A., Fallon, E. (2020). A Review of Unstructured Data Analysis and Parsing Methods. 2020 International Conference on Emerging Smart Computing and Informatics (ESCI). <https://doi.org/10.1109/esci48226.2020.9167588>
 36. Thivaharan, S., Srivatsun, G., Sarathambekai, S. (2020). A Survey on Python Libraries Used for Social Media Content Scraping. 2020 International Conference on Smart Electronics and Communication (ICOSEC). <https://doi.org/10.1109/icosec49089.2020.9215357>
 37. Sarkar, S., Almukaynizi, M., Shakarian, J., Shakarian, P. (2019). Predicting enterprise cyber incidents using social network analysis on dark web hacker forums. *The Cyber Defense Review*, 87–102. Available at: <https://www.jstor.org/stable/26846122>
 38. Ampel, B., Samtani, S., Zhu, H., Ullman, S., Chen, H. (2020). Labeling Hacker Exploits for Proactive Cyber Threat Intelligence: A Deep Transfer Learning Approach. 2020 IEEE International Conference on Intelligence and Security Informatics (ISI). <https://doi.org/10.1109/isi49825.2020.9280548>
 39. Ampel, B., Chen, H. (2021). Distilling Contextual Embeddings Into A Static Word Embedding For Improving Hacker Forum Analytics. 2021 IEEE International Conference on Intelligence and Security Informatics (ISI). <https://doi.org/10.1109/isi53945.2021.9624848>
 40. Samtani, S., Zhu, H., Chen, H. (2020). Proactively Identifying Emerging Hacker Threats from the Dark Web. *ACM Transactions on Privacy and Security*, 23 (4), 1–33. <https://doi.org/10.1145/3409289>
 41. Sen, P. C., Hajra, M., Ghosh, M. (2019). Supervised Classification Algorithms in Machine Learning: A Survey and Review. *Emerging Technology in Modelling and Graphics*, 99–111. https://doi.org/10.1007/978-981-13-7403-6_11
 42. Sokolova, M., Lapalme, G. (2009). A systematic analysis of performance measures for classification tasks. *Information Processing & Management*, 45 (4), 427–437. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2009.03.002>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.306179

DEVELOPMENT OF A MODEL OF THE INFORMATION AND ANALYTICAL SYSTEM FOR MAKING DECISIONS ON DETECTING FAILURES OF INFORMATION TRANSMISSION CHANNELS (p. 28–36)

Olexander Shmatko

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2426-900X>

Serhii Yevseiev

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1647-6444>

Oleksandr Milov

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6135-2120>

Kostyantyn Sporyshev

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4737-9698>

Ivan Opirskyy

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8461-8996>

Sergey Glukhov

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4918-3739>

Yevhen Rudenko

The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3093-8780>

Andrii Nalyvaiko

The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

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

Serhii Dakov

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9413-3709>

Oleksandr Sampir

The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3564-1997>

The object of the research is the channels of information transmission during the control of the information-analytical decision-making system. The development of high technologies and computing capabilities ensures the evolutionary development of smart technologies and socio-cyber-physical systems on the one hand. On the other hand, it forms the integration of targeted (mixed) attacks with the possibility of integration with social engineering methods. In addition, mobile technologies significantly increase the possibilities of data transmission speed. However, this only provides the authentication service, which does not provide a full range of security services. Under such conditions, an urgent task at the decision-making stage is the use of auxiliary systems that ensure the adequacy of decisions and the promptness of their adoption. The proposed mathematical model of the information and analytical system allows to calculate the main technical characteristics of information transmission channels and identify their possible failures. The use of an information and analytical system simplifies the decision-making process, allows to increase the reliability of such decisions due to an increase in the level of automation. Increasing the level of automa-

tion in the decision-making process removes subjective factors and the decision depends on the availability of information. Therefore, the reliability of the information transmission channels of the information and analytical system significantly affects the quality of the decisions made. The developed model allows to ensure the required level of reliability of information transmission channels. The obtained results are explained by determining the dependence between the parameters of the information and analytical system and their influence on the quality of information transmission through channels. The results of the study can be used in practice when considering systems with a limited number of states during operation.

Keywords: decision adequacy, verification, failure, simulation modeling, information, time matrix, model, Petri net, reliability.

References

- Yevseiev, S., Hryshchuk, R., Molodetska, K., Nazarkevych, M., Hrytsky, V., Milov, O. et al.; Yevseiev, S., Hryshchuk, R., Molodetska, K., Nazarkevych, M. (Eds.) (2022). Modeling of security systems for critical infrastructure facilities. Kharkiv: PC TECHNOLOGY CENTER, 196. <https://doi.org/10.15587/978-617-7319-57-2>
- Yevseiev, S., Ponomarenko, V., Laptiev, O., Milov, O., Korol, O., Milevskiy, S. et al.; Yevseiev, S., Ponomarenko, V., Laptiev, O., Milov, O. (Eds.) (2021). Synergy of building cybersecurity systems. Kharkiv: PC TECHNOLOGY CENTER, 188. <https://doi.org/10.15587/978-617-7319-31-2>
- Herasymov, S., Tkachov, A., Bazarnyi, S. (2024). Complex method of determining the location of social network agents in the interests of information operations. *Advanced Information Systems*, 8 (1), 31–36. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2024.1.04>
- Shmatko, O., Herasymov, S., Lysetskyi, Y., Yevseiev, S., Sievierinov, O., Voitko, T. et al. (2023). Development of the automated decision-making system synthesis method in the management of information security channels. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (9 (126)), 39–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.293511>
- Komeylian, S., Paolini, C., Sarkar, M. (2023). Beamforming Technique for Improving Physical Layer Security in an MIMO-OFDM Wireless Channel. *Advances in Distributed Computing and Machine Learning*, 127–134. https://doi.org/10.1007/978-981-99-1203-2_11
- Shao, R., Ding, C., Liu, L., He, Q., Qu, Y., Yang, J. (2024). High-fidelity multi-channel optical information transmission through scattering media. *Optics Express*, 32 (2), 2846. <https://doi.org/10.1364/oe.514668>
- Qiu, X., Yu, J., Zhuang, W., Li, G., Sun, X. (2023). Channel Prediction-Based Security Authentication for Artificial Intelligence of Things. *Sensors*, 23 (15), 6711. <https://doi.org/10.3390/s23156711>
- Mikoni, S. V. (2023). Approach to assessing the level of intelligence of an information system. *Ontology of Designing*, 13 (1), 29–43. <https://doi.org/10.18287/2223-9537-2023-13-1-29-43>
- Culbreth, S., Graham, S. (2023). Demonstrating Redundancy Advantages of a Three-Channel Communication Protocol. *International Conference on Cyber Warfare and Security*, 18 (1), 513–522. <https://doi.org/10.34190/iccws.18.1.964>
- Kramer, G. (2023). Information Rates for Channels with Fading, Side Information and Adaptive Codewords. *Entropy*, 25 (5), 728. <https://doi.org/10.3390/e25050728>
- Marabissi, D., Abrardo, A., Mucchi, L. (2023). A new framework for Physical Layer Security in HetNets based on Radio Resource Allocation and Reinforcement Learning. *Mobile Networks and Applications*. <https://doi.org/10.1007/s11036-023-02149-z>
- dos Santos, A., Barros, M. T. C. de, Correia, P. F. (2015). Transmission line protection systems with aided communication channels—Part II: Comparative performance analysis. *Electric Power Systems Research*, 127, 339–346. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2015.05.010>
- Enquist, M., Ghirlanda, S., Lind, J. (2023). Acquisition and Transmission of Sequential Information. *The Human Evolutionary Transition*, 167–176. <https://doi.org/10.23943/princeton/9780691240770.003.0012>
- Ribeiro, E. P. A., Lopes, F. V., Silva, K. M., Martins-Britto, A. G. (2023). Assessment of communication channel effects on time-domain protection functions tripping times. *Electric Power Systems Research*, 223, 109589. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2023.109589>
- Masure, L., Standaert, F.-X. (2023). Prouff and Rivain's Formal Security Proof of Masking, Revisited. *Lecture Notes in Computer Science*, 343–376. https://doi.org/10.1007/978-3-031-38548-3_12
- Masure, L., Cassiers, G., Hendrickx, J., Standaert, F.-X. (2023). Information Bounds and Convergence Rates for Side-Channel Security Evaluators. *IACR Transactions on Cryptographic Hardware and Embedded Systems*, 522–569. <https://doi.org/10.46586/tches.v2023.i3.522-569>
- Ramsden, J. (2023). The Transmission of Information. *Bioinformatics*, 75–91. https://doi.org/10.1007/978-3-030-45607-8_7
- Elzinga, R., Janssen, M. J., Wesseling, J., Negro, S. O., Hekkert, M. P. (2023). Assessing mission-specific innovation systems: Towards an analytical framework. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 48, 100745. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2023.100745>
- HPetriSim. Available at: <https://github.com/Uzuul23/HPetriSim/releases>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.306520

DETERMINING THE NUMBER OF SMALL-SIZED RADARS IN A NETWORK WITH COHERENT SIGNAL PROCESSING FOR THE DETECTION OF STEALTH AERIAL VEHICLES (p. 37–45)

Hennadii Khudov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine

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

Oleksandr Makoveichuk

Kharkiv National University of Radio Electronics,
Kharkiv, Ukraine

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

Ihor Butko

International Scientific and Technical University named after
academician Yury Bugai, Kyiv, Ukraine

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

Mykhajlo Murzin

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5093-0551>

Andrii Zvonko

Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy,
Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7410-799X>

Anatolii Adamenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1374-7301>

Dmytro Bashynskiy

State Research Institute of Aviation, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4949-6225>

Oleh Salnyk

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2688-1198>

Andrii Nyschchuk

Scientific-Research Institute of Military Intelligence, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7970-7265>

Vladyslav Khudov

Kharkiv National University of Radio Electronics,
Kharkiv, Ukraine

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

The object of this study is the process of determining the number of small-sized radars in the network when detecting stealth unmanned aerial vehicles. The main hypothesis of the study assumed that determining the optimal number of small-sized radars in the network will make it possible not to waste unnecessary resources of radars to detect stealth unmanned aerial vehicles.

The main stages of detection of a stealth unmanned aerial vehicle by a network of small-sized radars are:

- reception of the signal reflected from a stealth unmanned aerial vehicle by all small-sized radars of the network;
- coordinated filtering of incoming signals in each small-sized radar;
- compensation of phase shifts in each matched filter;
- coherent addition of output signals from each matched filter at the output of the receivers of each of the N small-sized radars performing reception;
- formation of a complex bypass at the output of the corresponding Doppler channel in each small-sized radar of the network;
- coherent processing of signals from all elements of the network of small-sized radars;
- detection of the output signal from the adder of coherent signals. At the same time, compensation for the random initial phase of signals reflected from a stealth unmanned aerial vehicle is also performed.

It has been established that the increase in the elements of the network of small-sized radars increases the value of the conditional probability of correct detection. Such an increase is more significant when the number of elements in the network of small-sized radars is increased to two or three. The gain in the signal/noise ratio when adding elements to the network of small-sized radars was evaluated. It was established that the optimal number of small-sized radars in a network with coherent signal processing when detecting stealth unmanned aerial vehicles is 2–3 radars.

Keywords: small-sized radar, aerial object detection, number of network elements, conditional probability of correct detection.

References

1. Coluccia, A., Parisi, G., Fascista, A. (2020). Detection and Classification of Multirotor Drones in Radar Sensor Networks: A Review. *Sensors*, 20 (15), 4172. <https://doi.org/10.3390/s20154172>
2. Yu, J., Liu, Y., Bai, Y., Liu, F. (2020). A double-threshold target detection method in detecting low slow small target. *Procedia Computer Science*, 174, 616–624. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.06.133>
3. Sentinel Radar. Available at: <https://www.rtx.com/raytheon/what-we-do/land/sentinel-radar>
4. NASAMS anti-aircraft missile system. Available at: <https://en.missilery.info/missile/nasams>
5. US Sentinel Radar Was Recorded in Ukraine. Available at: https://en.defence-ua.com/weapon_and_tech/us_sentinel_radar_was_recorded_in_ukraine-3357.html
6. Bezouwen, J., Brandfass, M. (2017). Technology Trends for Future Radar. Available at: <http://www.microwavejournal.com/articles/29367-technology-trends-for-future-radar>
7. Richards, M. A., Scheer, J. A., Holm, W. A. (Eds.) (2010). Principles of Modern Radar: Basic principles. Institution of Engineering and Technology. <https://doi.org/10.1049/sbra021e>
8. Chernyak, V. (2014). Signal detection with MIMO radars. *Uspehi sovremennoj radioelektroniki*, 7, 35–48.
9. Lishchenko, V., Kalimulin, T., Khizhnyak, I., Khudov, H. (2018). The Method of the organization Coordinated Work for Air Surveillance in MIMO Radar. 2018 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo). <https://doi.org/10.1109/ukrmico43733.2018.9047560>
10. Khudov, H. (2020). The Coherent Signals Processing Method in the Multiradar System of the Same Type Two-coordinate Surveillance Radars with Mechanical Azimuthal Rotation. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8 (6), 2624–2630. <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/66862020>
11. Multilateration (MLAT) Concept of Use. Edition 1.0 (2007). ICAO Asia and Pacific Office. Available at: https://www.icao.int/APAC/Documents/edocs/mlat_concept.pdf
12. LORAN-C. Available at: <https://skybrary.aero/articles/loran-c>
13. Rohhani, N., Shaker, G. (2024). Comprehensive Review: Effectiveness of MIMO and Beamforming Technologies in Detecting Low RCS UAVs. *Remote Sensing*, 16 (6), 1016. <https://doi.org/10.3390/rs16061016>
14. Kalkan, Y. (2024). 20 Years of MIMO Radar. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 39 (3), 28–35. <https://doi.org/10.1109/maes.2023.3349228>
15. Neven, W. H., Quilter, T. J., Weedon, R., Hogendoorn, R. A. (2005). Wide Area Multilateration Wide Area Multilateration. Report on EATMP TRS 131/04 Version 1.1. National Aerospace Laboratory NLR. Available at: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-05/surveillance-report-wide-area-multilateration-200508.pdf>
16. Mantilla-Gaviria, I. A., Leonardi, M., Balbastre-Tejedor, J. V., de los Reyes, E. (2013). On the application of singular value decomposition and Tikhonov regularization to ill-posed problems in hyperbolic passive location. *Mathematical and Computer Modelling*, 57 (7-8), 1999–2008. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2012.03.004>
17. Schau, H., Robinson, A. (1987). Passive source localization employing intersecting spherical surfaces from time-of-arrival differences. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 35 (8), 1223–1225. <https://doi.org/10.1109/tassp.1987.1165266>
18. Ryu, H., Wee, I., Kim, T., Shim, D. H. (2020). Heterogeneous sensor fusion based omnidirectional object detection. 2020 20th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS). <https://doi.org/10.23919/iccas50221.2020.9268431>
19. Salman, S., Mir, J., Farooq, M. T., Malik, A. N., Haleemdeen, R. (2021). Machine Learning Inspired Efficient Audio Drone Detection using Acoustic Features. 2021 International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technologies (IBCAST). <https://doi.org/10.1109/ibcast51254.2021.9393232>
20. Wang, W. (2016). Overview of frequency diverse array in radar and navigation applications. *IET Radar, Sonar & Navigation*, 10 (6), 1001–1012. <https://doi.org/10.1049/iet-rsn.2015.0464>
21. Li, Y. (2021). MIMO Radar Waveform Design: An Overview. *Journal of Beijing Institute of Technology*, 30 (1), 44–59. <https://doi.org/10.15918/j.jbit1004-0579.2021.002>
22. Oleksenko, O., Khudov, H., Petrenko, K., Horobets, Y., Kolianda, V., Kuchuk, N. et al. (2021). The Development of the Method of

- Radar Observation System Construction of the Airspace on the Basis of Genetic Algorithm. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 11 (8), 23–30. https://doi.org/10.46338/ijetae0821_04
23. Khudov, H., Berezhnyi, A., Yarosh, S., Oleksenko, O., Khomik, M., Yuzova, I. et al. (2023). Improving a method for detecting and measuring coordinates of a stealth aerial vehicle by a network of two small-sized radars. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (9 (126)), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.293276>
 24. Khudov, H., Yarosh, S., Kostyria, O., Oleksenko, O., Khomik, M., Zvonko, A. et al. (2024). Improving a method for non-coherent processing of signals by a network of two small-sized radars for detecting a stealth unmanned aerial vehicle. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (9 (127)), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298598>
 25. Chang, L. ZALA Lancet. Loitering munition. Available at: <https://www.militarytoday.com/aircraft/lancet.htm>
 26. Shin, S. -J. (2017). Radar measurement accuracy associated with target RCS fluctuation. *Electronics Letters*, 53 (11), 750–752. <https://doi.org/10.1049/el.2017.0901>
 27. Kishk, A., A., Chen, X. (Eds.) (2023). *MIMO Communications - Fundamental Theory, Propagation Channels, and Antenna Systems*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.110927>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.305623

DEVELOPING A TECHNOLOGY FOR MODELING RADAR PORTRAITS OF COMPLEX-SHAPE OBJECTS FOR INTELLIGENT RECOGNITION SYSTEMS (p. 46–59)

Mykola Komar

International Research and Training Center for Information Technologies and Systems under NAS and MES of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9194-2850>

Artem Sieriebriakov

International Research and Training Center for Information Technologies and Systems under NAS and MES of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3189-7968>

Roman Tymchyshyn

International Research and Training Center for Information Technologies and Systems under NAS and MES of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4243-4240>

Serhii Bondar

International Research and Training Center for Information Technologies and Systems under NAS and MES of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4140-7985>

The object of this study is the modeling of radar portraits (RPs) for intelligent recognition systems based on the use of faceted 3D models. In order to solve the problems of target identification in homing systems of high-precision missile weapons, a technology is needed that could make it possible to efficiently and quickly generate RPs of military objects of complex shape in the required quantity.

The research results are based on a combination of separate component technologies, in particular: the devised technology of using faceted 3D models – their construction and further processing with invisible surfaces excluded from it for an arbitrary viewing angle. The basic part of the work is the development of an algorithm and technological procedures for the formation of a spatial tracing grid

for the current observation angle. A feature of the proposed technology is the application of a facet selection algorithm using an array of tracing facets and the application of the Huygens-Fresnel principle to recognize objects of complex shape.

The RP database of military objects of complex shape was built. The results of modeling faceted RP's, in particular the armored boat "Gyurza-M", are given.

The results of the experimental study showed the ability to recognize the type of military object of complex shape at the level of 80–90 %, which makes the use of this technology appropriate for recognizing military objects of complex shape.

The achieved high-speed and quality characteristics of RP generation of military objects of a complex shape makes it possible to assume that the main prospective field of practical application is the identification and visual interpretation of targets in homing systems of high-precision missile weapons.

Keywords: radar signal, radar portraits of targets, intelligent recognition, facet models, noises.

References

1. Hwang, J.-T., Hong, S.-Y., Song, J.-H., Kwon, H.-W. (2015). Radar Cross Section Analysis Using Physical Optics and Its Applications to Marine Targets. *Journal of Applied Mathematics and Physics*, 03 (02), 166–171. <https://doi.org/10.4236/jamp.2015.32026>
2. Thomet, A., Kubicke, G., Bourlier, C., Pouliguen, P. (2014). Improvement of iterative physical optics using the physical optics shadow radiation. *Progress In Electromagnetics Research M*, 38, 1–13. <https://doi.org/10.2528/PIERM14021202>
3. Shah, M. A., Tokgoz, C., Salau, B. A. (2022). Radar Cross Section Prediction Using Iterative Physical Optics With Physical Theory of Diffraction. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 70 (6), 4683–4690. <https://doi.org/10.1109/tap.2021.3137202>
4. Skolnik, M. I. (2008). *Radar Handbook*. Boston: McGraw-Hill, 1350.
5. Shirman, Y. D. (2002). *Computer Simulation of Aerial Target Radar Scattering, Recognition, Detection, and Tracking*. Artech House, 294.
6. Bakshi, N., Shivani, S., Tiwari, S., Khurana, M. (2020). Optimized Z-Buffer Using Divide and Conquer. *Innovations in Computational Intelligence and Computer Vision*, 41–47. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6067-5_6
7. Li, C., Kuai, X., He, B., Zhao, Z., Lin, H., Zhu, W. et al. (2023). Visibility-Based R-Tree Spatial Index for Consistent Visualization in Indoor and Outdoor Scenes. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 12 (12), 498. <https://doi.org/10.3390/ijgi12120498>
8. Lee, G. B., Jeong, M., Seok, Y., Lee, S. (2021). Hierarchical Raster Occlusion Culling. *Computer Graphics Forum*, 40 (2), 489–495. <https://doi.org/10.1111/cgf.142649>
9. Dong, C., Guo, L., Meng, X., Li, H. (2022). An Improved GO-PO/PTD Hybrid Method for EM Scattering From Electrically Large Complex Targets. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 70 (12), 12130–12138. <https://doi.org/10.1109/tap.2022.3209195>
10. Yun, Z., Iskander, M. F. (2015). *Ray Tracing for Radio Propagation Modeling: Principles and Applications*. *IEEE Access*, 3, 1089–1100. <https://doi.org/10.1109/access.2015.2453991>
11. LV, J., Wang, Y., Huang, J., Li, Y., Huang, J., Wang, C.-X. (2022). An Improved Triangular Facets based Angular Z-Buffer Algorithm for IM Ray Tracing Channel Modeling. *2022 IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC)*. <https://doi.org/10.1109/iccc55456.2022.9880630>
12. Degli-Esposti, V. (2014). Ray Tracing propagation modelling: Future prospects. *The 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2014)*. <https://doi.org/10.1109/eucap.2014.6902256>

13. Merdok, K. (2012). 3ds Max 2012. Bibliya pol'zovatelya 3ds Max 2012 Bible. Moscow: «Dialektika», 1312.
14. Bittner, J., Wonka, P. (2003). Visibility in Computer Graphics. Environment and Planning B: Planning and Design, 30 (5), 729–755. <https://doi.org/10.1068/b2957>
15. Wang, J.-K., Zhang, M., Chen, J.-L., Cai, Z. (2016). Application of facet scattering model in sar imaging of sea surface waves with kelvin wake. Progress In Electromagnetics Research B, 67, 107–120. <https://doi.org/10.2528/pierb16022804>
16. Persson, B. (2017). Radar Target Modeling Using In-Flight Radar Cross-Section Measurements. Journal of Aircraft, 54 (1), 284–291. <https://doi.org/10.2514/1.c033932>
17. Wavefront OBJ File Format. Available at: <https://www.loc.gov/preservation/digital/formats/fdd/fdd000507.shtml>
18. Object Files (.obj). Available at: <http://fegemo.github.io/cefet-cg/attachments/obj-spec.pdf>
19. Light, B., Burgess, J., Duguay, S. (2016). The walkthrough method: An approach to the study of apps. New Media & Society, 20 (3), 881–900. <https://doi.org/10.1177/1461444816675438>
20. Zaker, R., Sadeghzadeh, A. (2020). Passive techniques for target radar cross section reduction: A comprehensive review. International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering, 30 (11). <https://doi.org/10.1002/mmce.22411>
21. Chung, S.-S. M., Chou, Y.-H., Chuang, Y.-C. (2016). Radar Cross Section Analysis of Stealth Fighter Design: Key Factors and Limitations of Simulation. International Journal of Electrical Engineering, 23 (6), 201–214. <https://doi.org/10.6329/ciee.2016.6.02>
22. Mahafza, B. R. (2005). Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB. Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/9781420057072>
23. Xu, X., Bi, D., Pan, J. (2021). Method for functional state recognition of multifunction radars based on recurrent neural networks. IET Radar, Sonar & Navigation, 15 (7), 724–732. <https://doi.org/10.1049/rsn2.12075>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.303989

USING THE SET OF INFORMATIVE FEATURES OF A BINDING OBJECT TO CONSTRUCT A DECISION FUNCTION BY THE SYSTEM OF TECHNICAL VISION WHEN LOCALIZING MOBILE ROBOTS (p. 60–69)

Alexander Sotnikov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine

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

Valeriia Tiurina

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3444-143X>

Konstantin Petrov

Kharkiv National University of Radio Electronics,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1973-711X>

Viktoriia Lukyanova

Kharkiv National University of Radio Electronics,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7476-3746>

Oleksiy Lanovyy

Kharkiv National University of Radio Electronics,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4504-4301>

Yurii Onishchenko

Kharkiv National University of Internal Affairs, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7755-3071>

Yurii Gnusov

Kharkiv National University of Internal Affairs, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9017-9635>

Serhii Petrov

Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8933-9649>

Oleksii Boichenko

Flight Academy of the National Aviation University,

Kropyvnytsky, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4664-4023>

Pavlo Breus

Flight Academy of the National Aviation University,

Kropyvnytsky, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8210-8933>

The object of this study is the process of constructing a decision function by the optical-electronic system of technical vision under the conditions of the influence of obstacles on the current image, which is formed in the process of localization of a mobile robot. The paper reports the results of solving the problem of constructing a decision function when reducing the signal-to-noise ratio of the current image by using a set of informative features for the selection of the binding object, namely, brightness, contrast, and its area. The selection of the binding object is proposed to be carried out by choosing the appropriate values of the quantization thresholds of the current image for the selected informative features, taking into account the signal-to-noise ratio, which provides the necessary probability of object selection. The dependence of the object selection probability on the selected values of the quantization thresholds was established. The use of the results could enable the construction of a unimodal decision function when localizing mobile robots on imaging surfaces with weakly pronounced brightness and contrast characteristics of objects, as well as with their small geometric dimensions. By modeling, the probability of forming a decision function was estimated depending on the degree of noise of the current images. It is shown that the application of the proposed approach allows selection of objects with a probability ranging from 0.78 to 0.99 for the values of the signal-to-noise ratio of images formed by the technical vision system under real conditions. The method to construct a decision function under the influence of interference could be implemented in information processing algorithms used in optical-electronic technical vision systems for the navigation of unmanned aerial vehicles.

Keywords: mobile robot, decision function, informative features, quantization thresholds, signal-to-noise ratio.

References

1. Sotnikov, O., Tymochko, O., Bondarchuk, S., Dzuma, L., Rudenko, V., Mandryk, Ya. et al. (2023). Generating a Set of Reference Images for Reliable Condition Monitoring of Critical Infrastructure using Mobile Robots. Problems of the Regional Energetics, 2 (58), 41–51. <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2023.2-58.04>
2. Sotnikov, O., Kartashov, V. G., Tymochko, O., Sergiyenko, O., Tyrsa, V., Mercorelli, P., Flores-Fuentes, W. (2019). Methods for Ensuring the Accuracy of Radiometric and Optoelectronic Navigation Systems of Flying Robots in a Developed Infrastructure. Machine Vision and Navigation, 537–577. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22587-2_16

3. Volkov, V. Yu. (2017). Adaptive Extraction of Small Objects in Digital Images. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii Rossi. Radioelektronika [Journal of the Russian Universities. Radioelectronics]*, 1, 17–28.
4. Volkov, V. Yu., Turnetskiy, L. S. (2009). Porogovaya obrabotka dlya segmentatsii i vydeleniya protyazhennykh obektov na tsifrovyykh izobrazheniyah. *Informatsionno-upravlyayushchie sistemy*, 5 (42), 10–13.
5. Fursov, V., Bibikov, S., Yakimov, P. (2013). Localization of objects contours with different scales in images using hough transform. *Computer Optics*, 37 (4), 496–502. <https://doi.org/10.18287/0134-2452-2013-37-4-496-502>
6. Abdollahi, A., Pradhan, B. (2021). Integrated technique of segmentation and classification methods with connected components analysis for road extraction from orthophoto images. *Expert Systems with Applications*, 176, 114908. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.114908>
7. Bakhtiari, H. R. R., Abdollahi, A., Rezaeian, H. (2017). Semi automatic road extraction from digital images. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 20 (1), 117–123. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.03.001>
8. Yeromina, N., Petrov, S., Tantsiura, A., Iasechko, M., Larin, V. (2018). Formation of reference images and decision function in radiometric correlation extremal navigation systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (94)), 27–35. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.139723>
9. Sotnikov, A., Tarshyn, V., Yeromina, N., Petrov, S., Antonenko, N. (2017). A method for localizing a reference object in a current image with several bright objects. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (9 (87)), 68–74. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.101920>
10. Tsvetkov, O., Tananykina, L. (2015). A preprocessing method for correlation-extremal systems. *Computer Optics*, 39 (5), 738–743. <https://doi.org/10.18287/0134-2452-2015-39-5-738-743>
11. Senthilnath, J., Rajeshwari, M., Omkar, S. N. (2009). Automatic road extraction using high resolution satellite image based on texture progressive analysis and normalized cut method. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 37 (3), 351–361. <https://doi.org/10.1007/s12524-009-0043-5>
12. Zhang, X., Du, B., Wu, Z., Wan, T. (2022). LAANet: lightweight attention-guided asymmetric network for real-time semantic segmentation. *Neural Computing and Applications*, 34 (5), 3573–3587. <https://doi.org/10.1007/s00521-022-06932-z>
13. Song, Y., Shang, C., Zhao, J. (2023). LBCNet: A lightweight bilateral cascaded feature fusion network for real-time semantic segmentation. *The Journal of Supercomputing*, 80 (6), 7293–7315. <https://doi.org/10.1007/s11227-023-05740-z>
14. Tarshyn, V. A., Sotnikov, A. M., Sydorenko, R. G., Megelbey, V. V. (2015). Preparation of reference patterns for high-fidelity correlation-extreme navigation systems on basis of forming of paul fractal dimensions. *Sistemy ozbroiennia i viyskova tekhnika*, 2, 142–144. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/soivt_2015_2_38
15. Abeyasinghe, W., Wong, M., Hung, C.-C., Bechikh, S. (2019). Multi-Objective Evolutionary Algorithm for Image Segmentation. 2019 SoutheastCon. <https://doi.org/10.1109/southeastcon42311.2019.9020457>
16. Grinias, I., Panagiotakis, C., Tziritas, G. (2016). MRF-based segmentation and unsupervised classification for building and road detection in peri-urban areas of high-resolution satellite images. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 122, 145–166. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.10.010>
17. Bai, H., Cheng, J., Su, Y., Wang, Q., Han, H., Zhang, Y. (2022). Multi-Branch Adaptive Hard Region Mining Network for Urban Scene Parsing of High-Resolution Remote-Sensing Images. *Remote Sensing*, 14 (21), 5527. <https://doi.org/10.3390/rs14215527>
18. Sambaturu, B., Gupta, A., Jawahar, C. V., Arora, C. (2023). ScribbleNet: Efficient interactive annotation of urban city scenes for semantic segmentation. *Pattern Recognition*, 133, 109011. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2022.109011>
19. Khudov, H., Makoveichuk, O., Butko, I., Gyrenko, I., Stryhun, V., Bilous, O. et al. (2022). Devising a method for segmenting camouflaged military equipment on images from space surveillance systems using a genetic algorithm. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (9 (117)), 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.259759>
20. Körting, T. S., Fonseca, L. M. G., Dutra, L. V., Silva, F. C. (2010). Image re-segmentation applied to urban imagery. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVII, B3b, 393–398. <https://doi.org/10.13140/2.1.5133.9529>
21. Dikmen, M., Halici, U. (2014). A Learning-Based Resegmentation Method for Extraction of Buildings in Satellite Images. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11 (12), 2150–2153. <https://doi.org/10.1109/lgrs.2014.2321658>
22. Ruban, I., Khudov, H., Makoveichuk, O., Khizhnyak, I., Lukova-Chuiko, N., Pevtsov, H. et al. (2019). Method for determining elements of urban infrastructure objects based on the results from air monitoring. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (100)), 52–61. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.174576>
23. Khudov, H., Khudov, V., Yuzova, I., Solomonenko, Y., Khizhnyak, I. (2021). The Method of Determining the Elements of Urban Infrastructure Objects Based on Hough Transformation. *Studies in Systems, Decision and Control*, 247–265. https://doi.org/10.1007/978-3-030-87675-3_15
24. Yeromina, N., Udovovenko, S., Tiurina, V., Boichenko, O., Breus, P., Onishchenko, Y. et al. (2023). Segmentation of Images Used in Unmanned Aerial Vehicles Navigation Systems. *Problems of the Regional Energetics*, 4 (60), 30–42. <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2023.4-60.03>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.306227

DEVELOPMENT OF A PROCEDURE FOR FRAGMENTING ASTRONOMICAL FRAMES TO ACCELERATE HIGH FREQUENCY FILTERING (p. 70–77)

Vladimir Vlasenko

National Space Facilities Control and Test Center, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8639-4415>

Sergii Khlamov

SoftServe, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9434-1081>

Vadym Savanevych

Kharkiv National University of Radio Electronics,

Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8840-8278>

Tetiana Trunova

Kharkiv National University of Radio Electronics,

Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2689-2679>

Zhanna Deineko

Kharkiv National University of Radio Electronics,

Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0175-4181>

Iryna Tabakova

Kharkiv National University of Radio Electronics,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6629-4927>

The object of this study is the process of filtering astronomical frames that contain images of potential objects in the Solar System. To contour the image of each such object and recognize it in contrast with the background of the frame, it is necessary to filter the image. Most often, a variety of high-pass filters are used to determine the high-frequency component of the image, which can be removed as a coarse-grained component. Any image filtering is aimed at increasing the signal-to-noise ratio and reducing the dynamic range of the background image. However, the filtering process is quite resource- and time-consuming. This is especially true for systems for parallel processing of series of astronomical frames in real time (online). Therefore, to solve the problem of lack of frame fragmentation, which leads to high consumption of RAM, a procedure for fragmenting astronomical frames has been proposed.

Owing to the introduction of a formal connection between the values of frame pixels and fragments, as well as determining their number, it was possible to reduce RAM utilization. Testing was carried out using the following high-pass filters – ideal filter, Butterworth filter, and Gaussian filter. Using the devised procedure for fragmenting astronomical frames has made it possible to reduce the utilization of RAM during filtering. As a result, with parallel processing, this has also made it possible to speed up the high-frequency filtering procedure itself.

The procedure devised for fragmenting astronomical frames was tested in practice within the framework of the CoLiTec project. It was implemented in the On-Line Data Analysis System (OLDAS) of the Lemur software.

The study showed that when using the devised procedure, RAM utilization was reduced by 7–10 times. And the speed of filtration itself increased by 2–3 times. Accordingly, the processing time for each astronomical frame was reduced by 2–3 times.

Keywords: frame fragmentation, multiprocessing, high-pass filtering, ideal filter, Butterworth filter, Gaussian filter.

References

- Wheeler, L., Dotson, J., Aftosmis, M., Coates, A., Chomette, G., Mathias, D. (2024). Risk assessment for asteroid impact threat scenarios. *Acta Astronautica*, 216, 468–487. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2023.12.049>
- Khلامov, S. V., Savanevych, V. E., Briukhovetskyi, O. B., Pohorelov, A. V. (2016). CoLiTec software - detection of the near-zero apparent motion. *Proceedings of the International Astronomical Union*, 12 (S325), 349–352. <https://doi.org/10.1017/s1743921316012539>
- Savanevych, V. E., Khلامov, S. V., Akhmetov, V. S., Briukhovetskyi, A. B., Vlasenko, V. P., Dikov, E. N. et al. (2022). CoLiTecVS software for the automated reduction of photometric observations in CCD-frames. *Astronomy and Computing*, 40, 100605. <https://doi.org/10.1016/j.ascom.2022.100605>
- Khalil, M., Said, M., Osman, H., Ahmed, B., Ahmed, D., Younis, N. et al. (2019). Big data in astronomy: from evolution to revolution. *International Journal of Advanced Astronomy*, 7 (1), 11–14. <https://doi.org/10.14419/ijaa.v7i1.18029>
- Adam, G. K., Kontaxis, P. A., Doulos, L. T., Madias, E.-N. D., Bouroussis, C. A., Topalis, F. V. (2019). Embedded Microcontroller with a CCD Camera as a Digital Lighting Control System. *Electronics*, 8 (1), 33. <https://doi.org/10.3390/electronics8010033>
- Vavilova, I., Pakuliak, L., Babyk, I., Elyiv, A., Dobrycheva, D., Melnyk, O. (2020). Surveys, Catalogues, Databases, and Archives of Astronomical Data. *Knowledge Discovery in Big Data from Astronomy and Earth Observation*, 57–102. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819154-5.00015-1>
- Zhang, Y., Zhao, Y., Cui, C. (2002). Data mining and knowledge discovery in database of astronomy. *Progress in Astronomy*, 20 (4), 312–323.
- Chalyi, S., Levykin, I., Biziuk, A., Vovk, A., Bogatov, I. (2020). Development of the technology for changing the sequence of access to shared resources of business processes for process management support. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (3 (104)), 22–29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.198527>
- Khلامov, S., Savanevych, V., Tabakova, I., Trunova, T. (2022). The astronomical object recognition and its near-zero motion detection in series of images by in situ modeling. 2022 29th International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP). <https://doi.org/10.1109/iwssip55020.2022.9854475>
- Troianskyi, V., Kankiewicz, P., Oszkiewicz, D. (2023). Dynamical evolution of basaltic asteroids outside the Vesta family in the inner main belt. *Astronomy & Astrophysics*, 672, A97. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202245678>
- Oszkiewicz, D., Troianskyi, V., Galád, A., Hanuš, J., Ďurech, J., Wilawer, E. et al. (2023). Spins and shapes of basaltic asteroids and the missing mantle problem. *Icarus*, 397, 115520. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2023.115520>
- Savanevych, V., Khلامov, S., Briukhovetskyi, O., Trunova, T., Tabakova, I. (2023). Mathematical Methods for an Accurate Navigation of the Robotic Telescopes. *Mathematics*, 11 (10), 2246. <https://doi.org/10.3390/math11102246>
- Bellanger, M. (2024). *Digital Signal Processing*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781394182695>
- Savanevych, V., Khلامov, S., Vlasenko, V., Deineko, Z., Briukhovetskyi, O., Tabakova, I., Trunova, T. (2022). Formation of a typical form of an object image in a series of digital frames. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (2 (120)), 51–59. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266988>
- Klette, R. (2014). *Concise Computer Vision*. Springer London. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-6320-6>
- Khلامov, S., Tabakova, I., Trunova, T. (2022). Recognition of the astronomical images using the Sobel filter. 2022 29th International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP). <https://doi.org/10.1109/iwssip55020.2022.9854425>
- Bodyanskiy, Y., Popov, S., Brodetskyi, F., Chala, O. (2022). Adaptive Least-Squares Support Vector Machine and its Combined Learning-Selflearning in Image Recognition Task. 2022 IEEE 17th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT). <https://doi.org/10.1109/csit56902.2022.10000518>
- Dhanalakshmi, R., Bhavani, N. P. G., Raju, S. S., Shaker Reddy, P. C., Mavaluru, D., Singh, D. P., Batu, A. (2022). Onboard Pointing Error Detection and Estimation of Observation Satellite Data Using Extended Kalman Filter. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2022/4340897>
- Savanevych, V., Akhmetov, V., Khلامov, S., Dikov, E., Briukhovetskyi, A., Vlasenko, V. et al. (2019). Selection of the Reference Stars for Astrometric Reduction of CCD-Frames. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 881–895. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33695-0_57
- Lösler, M., Eschelbach, C., Riepl, S. (2018). A modified approach for automated reference point determination of SLR and VLBI tele-

- scopes. *Tm - Technisches Messen*, 85 (10), 616–626. <https://doi.org/10.1515/teme-2018-0053>
21. Shan, W., Yi, Y., Qiu, J., Yin, A. (2019). Robust Median Filtering Forensics Using Image Deblocking and Filtered Residual Fusion. *IEEE Access*, 7, 17174–17183. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2894981>
 22. Hu, Z., Bodyanskiy, Y. V., Tyshchenko, O. K., Tkachov, V. M. (2017). Fuzzy Clustering Data Arrays with Omitted Observations. *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, 9 (6), 24–32. <https://doi.org/10.5815/ijisa.2017.06.03>
 23. Kirichenko, L., Saif, A., Radivilova, T. (2020). Generalized Approach to Analysis of Multifractal Properties from Short Time Series. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 11 (5). <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2020.0110527>
 24. Dadkhah, M., Lyashenko, V. V., Deineko, Z. V., Shamshirband, S., Jazi, M. D. (2019). Methodology of wavelet analysis in research of dynamics of phishing attacks. *International Journal of Advanced Intelligence Paradigms*, 12 (3/4), 220. <https://doi.org/10.1504/ijaip.2019.098561>
 25. Kirichenko, L., Pichugina, O., Radivilova, T., Pavlenko, K. (2022). Application of Wavelet Transform for Machine Learning Classification of Time Series. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 547–563. https://doi.org/10.1007/978-3-031-16203-9_31
 26. Khlamov, S., Vlasenko, V., Savanevych, V., Briukhovetskyi, O., Trunova, T., Chelombitko, V., Tabakova, I. (2022). Development of computational method for matched filtration with analytical profile of the blurred digital image. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (4 (119)), 24–32. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265309>
 27. Khlamov, S., Savanevych, V., Vlasenko, V., Briukhovetskyi, O., Trunova, T., Levykin, I. et al. (2023). Development of the matched filtration of a blurred digital image using its typical form. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (9 (121)), 62–71. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.273674>
 28. Kirillov, A., Wu, Y., He, K., Girshick, R. (2020). PointRend: Image Segmentation As Rendering. 2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). <https://doi.org/10.1109/cvpr42600.2020.00982>
 29. Minaee, S., Boykov, Y. Y., Porikli, F., Plaza, A. J., Kehtarnavaz, N., Terzopoulos, D. (2021). Image Segmentation Using Deep Learning: A Survey. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1–1. <https://doi.org/10.1109/tpami.2021.3059968>
 30. Kudzej, I., Savanevych, V. E., Briukhovetskyi, O. B., Khlamov, S. V., Pohorelov, A. V., Vlasenko, V. P. et al. (2019). CoLiTecVS – A new tool for the automated reduction of photometric observations. *Astronomische Nachrichten*, 340 (1-3), 68–70. <https://doi.org/10.1002/asna.201913562>
 31. Troianskyi, V., Kashuba, V., Bazey, O., Okhotko, H., Savanevych, V., Khlamov, S., Briukhovetskyi, A. (2023). First reported observation of asteroids 2017 AB8, 2017 QX33, and 2017 RV12. *Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso*, 53 (2). <https://doi.org/10.31577/caosp.2023.53.2.5>
 32. Burger, W., Burge, M. J. (2022). *Digital Image Processing*. In *Texts in Computer Science*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-05744-1>
 33. Lemur software. CoLiTec. Available at: <https://colitec.space/>
 34. Khlamov, S., Savanevych, V., Tabakova, I., Kartashov, V., Trunova, T., Kolendovska, M. (2024). Machine Vision for Astronomical Images using The Modern Image Processing Algorithms Implemented in the CoLiTec Software. *Measurements and Instrumentation for Machine Vision*, 269–310. <https://doi.org/10.1201/9781003343783-12>
 35. Dougherty, E. R. (2020). *Digital Image Processing Methods*. CRC Press, 504. <https://doi.org/10.1201/9781003067054>
 36. Gonzalez, R., Woods, R. (2018). *Digital image processing*. Pearson. Available at: <https://dl.icdst.org/pdfs/files4/01c56e081202b62bd7d3b4f8545775fb.pdf>
 37. Shvedun, V. O., Khlamov, S. V. (2016). Statistical modeling for determination of perspective number of advertising legislation violations. *Actual Problems of Economics*, 184 (10), 389–396.
 38. Perova, I., Brazhnykova, Y., Miroshnychenko, N., Bodyanskiy, Y. (2020). Information Technology for Medical Data Stream Mining. 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET). <https://doi.org/10.1109/tcset49122.2020.235399>
 39. Ulrich, M., Steger, C., Wiedemann, C. (2018). *Machine vision algorithms and applications*. John Wiley & Sons, 516.
 40. Khlamov, S., Tabakova, I., Trunova, T., Deineko, Z. (2022). Machine Vision for Astronomical Images Using the Canny Edge Detector. *CEUR Workshop Proceedings*, 3384, 1–10.
 41. Ruban, I., Martovytskyi, V., Lukova-Chuiko, N. (2016). Designing a monitoring model for cluster super-computers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (2 (84)), 32–37. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.85433>
 42. Buslov, P., Shvedun, V., Streltsov, V. (2018). Modern Tendencies of Data Protection in the Corporate Systems of Information Consolidation. 2018 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T). <https://doi.org/10.1109/infocommst.2018.8632089>
 43. Cavuoti, S., Brescia, M., Longo, G. (2012). Data mining and knowledge discovery resources for astronomy in the web 2.0 age. *Software and Cyberinfrastructure for Astronomy II*. <https://doi.org/10.1117/12.925321>
 44. Petrychenko, A., Levykin, I., Iuriev, I. (2021). Improving a method for selecting information technology services. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (2 (110)), 32–43. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.229983>
 45. Grebennik, I., Chorna, O., Urniaieva, I. (2022). Distribution of Permutations with Different Cyclic Structure in Mathematical Models of Transportation Problems. 2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT). <https://doi.org/10.1109/acit54803.2022.9913183>
 46. Baranova, V., Zeleniy, O., Deineko, Z., Bielcheva, G., Lyashenko, V. (2019). Wavelet Coherence as a Tool for Studying of Economic Dynamics in Infocommunication Systems. 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T). <https://doi.org/10.1109/picst47496.2019.9061301>
 47. Dombrovska, S., Shvedun, V., Streltsov, V., Husarov, K. (2018). The prospects of integration of the advertising market of Ukraine into the global advertising business. *Problems and Perspectives in Management*, 16 (2), 321–330. [https://doi.org/10.21511/ppm.16\(2\).2018.29](https://doi.org/10.21511/ppm.16(2).2018.29)

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.304129

ENHANCING THE RELIABILITY OF INFORMATION IN POSITIONING SYSTEMS ON ROAD TRANSPORT BY USING PARALLEL INFORMATION REDUNDANCY (p. 78–92)

Ali Al-Ammouri

National Transport University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0375-6108>

Vitalii Kharuta

National Transport University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8897-7558>

Arsen Klochan

National Transport University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4225-9382>

Olena Shkurko

National Transport University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0936-886X>

Hasan Al-Ammori

National Transport University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1371-2205>

The object of research is the reliability of information in information-control systems. The work considers a solution to an important scientific and practical problem – increasing the reliability of information in real-time control systems, in particular in positioning systems on road transport. To solve this task, the use of information redundancy, in particular, parallel information redundancy, is proposed. The paper studies the influence of the probability of occurrence of a controlled event, the majority coefficient, as well as the number and quality of information sensors on the reliability of information in an information control system with parallel information redundancy. For these dependences, the corresponding plots were constructed. The paper shows that a change in the quality of information sensors by 20 % can lead to an increase in the reliability of information by more than 0.5. Also, the paper shows that an increase in the majority index by 1 can lead to a change in the reliability of information by more than 0.3. The paper investigates parallel information redundancy systems with different structures and defines formulas for calculating the probabilistic characteristics of their operation. The mathematical modeling was carried out taking into account the probability of occurrence of the controlled event, which made it possible to determine the tendencies to build information-control systems with parallel information redundancy to control events with variable probability of occurrence. The results obtained are based on the theory of probability. The results reported in this work can be used in the construction of an information and control system with a programmatically variable structure to control the occurrence of an event with a variable probability of occurrence, in particular in positioning systems on road transport.

Keywords: information security, information sensors, information reliability, information redundancy, positioning system.

References

- Dychko, A., Yermeyev, I., Kyselov, V., Remez, N., Kniazevych, A. (2019). Ensuring Reliability of Control Data in Engineering Systems. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, 56 (6), 57–69. <https://doi.org/10.2478/lpts-2019-0035>
- Zhao, P., Zhang, Y., Chen, J. (2017). Optimal allocation policy of one redundancy in a n-component series system. *European Journal of Operational Research*, 257 (2), 656–668. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.07.055>
- Belzunce, F., Martínez-Puertas, H., Ruiz, J. M. (2013). On allocation of redundant components for systems with dependent components. *European Journal of Operational Research*, 230 (3), 573–580. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.05.004>
- Al-Ammori, A., Dmytrychenko, A. N., Al-Ammori, H. A. (2019). Probabilistic-Mathematical Models for Formation of Information Flows in Aircraft Fire Alarm System. *Journal of Automation and Information Sciences*, 51 (7), 67–80. <https://doi.org/10.1615/jautomatinfscien.v51.i7.60>
- Wang, M., Liao, Y., Lyckvi, S. L., Chen, F. (2019). How drivers respond to visual vs. auditory information in advisory traffic information systems. *Behaviour & Information Technology*, 39 (12), 1308–1319. <https://doi.org/10.1080/0144929x.2019.1667439>
- Xiong, Y., Cheng, Y., Xu, M., Mu, M., Wu, J. (2020). Reliability assessment of heavy-duty computer numerical control machine tools based on multi-performance multi-sequence hidden Markov model. *Quality Engineering*, 32 (3), 409–420. <https://doi.org/10.1080/08982112.2020.1756321>
- Al-Ammouri, A., Lebid, I., Dekhtiar, M., Lebid, I., Al-Ammori, H. (2022). Development of a mathematical model of reliable structures of information-control systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (119)), 68–78. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265953>
- Zhang, X., Zhang, D., Yang, X., Hou, X. (2019). Reliability analysis of vehicle speed estimation based on uncertainty of information obtained on accident scene. *International Journal of Crashworthiness*, 24 (4), 472–485. <https://doi.org/10.1080/13588265.2018.1478926>
- Al-Ammouri, A., Dmytrychenko, A., Al-Ammori, H., Kharuta, V. (2019). Development of structures of the aircraft fire alarm system by means of nested modules. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (98)), 14–23. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.163022>
- Deng, X., Zhou, B., Sun, X., Yang, H., Chen, L. (2021). A method for reliability detection of automated guided vehicle based on timed automata. *Systems Science & Control Engineering*, 9 (1), 570–579. <https://doi.org/10.1080/21642583.2021.1961328>
- Torrado, N., Arriaza, A., Navarro, J. (2021). A study on multi-level redundancy allocation in coherent systems formed by modules. *Reliability Engineering & System Safety*, 213, 107694. <https://doi.org/10.1016/j.res.2021.107694>

АНОТАЦІЇ
INFORMATION AND CONTROLLING SYSTEM

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.305685

СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ МЕРЕЖЕВИХ ВТОРГНЕНЬ НА ОСНОВІ ЗГОРТКОВОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ТА ДВОНАПРАВЛЕНОГО ВЕНТИЛЬНОГО РЕКУРЕНТНОГО ВУЗЛА З МЕХАНІЗМОМ УВАГИ (с. 6–15)

А. О. Нікітенко, Є. О. Башков

Об'єктом дослідження є процес розпізнавання вторгнень в комп'ютерних мережах. Системи виявлення мережеских вторгнень (NIDS) стали актуальною сферою досліджень, оскільки вони використовуються для захисту комп'ютерних систем від хакерських атак. Глибоке навчання стає все більш популярним для виявлення та класифікації шкідливого мережевого трафіку, в тому числі і для побудови NIDS.

У роботі пропонується модель виявлення мережеских вторгнень CNN-BiGRU-Attention, що заснована на часовому підході до глибокого навчання з використанням механізму уваги. Головна ціль дослідження: побудувати ефективну комбіновану модель глибокого навчання, яка здатна виявляти різноманітні мережеві кіберзагрози.

Реалізовано 1D згорткову нейронну мережу для вилучення високорівневих представлень ознак інформації про вторгнення. Розроблено двонаправлений вентильний рекурентний вузол (BiGRU) з механізмом уваги для класифікації даних трафіку. Механізм уваги грає ключову роль у розробленій моделі, так як дозволяє системі зосередитися лише на важливих аспектах мережевого трафіку та дозволяє моделі адаптуватися до нових видів загроз.

Результати дослідження показують, що використання комбінації CNN та BiGRU з механізмом уваги прискорює та покращує процес класифікації атак на мережу. На тренувальних наборах даних NSL-KDD та UNSW-NB15 модель показує точність у 99.81 % та 97.80 %. На тестувальних наборах даних NSL-KDD та UNSW-NB15 модель показує точність у 82.16 % та 97.72 %.

Пропонована модель NIDS розглядатиметься для впровадження в систему захисту корпоративних мереж у режимі реального часу.

Загалом, результати дослідження дають новий погляд на покращення роботи NIDS і є доволі актуальними з точки зору використання механізмів уваги для класифікації мережевого трафіку.

Ключові слова: глибоке навчання, комбінована модель, системи виявлення мережеских вторгнень, механізм уваги.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.306522

ВИЯВЛЕННЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ ЗАГРОЗ ТА ВРАЗЛИВОСТЕЙ НА ХАКЕРСЬКИХ ФОРУМАХ НА ОСНОВІ МАШИННОГО НАВЧАННЯ (с. 16–27)

S. Mambetov, Ye. Begimbayeva, O. G. Gurko, G. O. Doroshenko, S. Joldasbayev, O. A. Fridman, V. Kulambayev, V. O. Babenko, I. G. Lybe, S. M. Nerono

Об'єктом дослідження є процес виявлення загроз та вразливостей на хакерських форумах, що є відомим джерелом потенційних небезпек для користувачів Інтернету. Однак проблемою аналізу та класифікації даних з цих форумів є його складність внаслідок таких особливостей мови учасників, як специфічний сленг, жаргон тощо, що вимагає застосування сучасних інструментів до їх обробки. У роботі розглядається застосування машинного навчання для аналізу настроїв і тенденцій на хакерських форумах для виявлення потенційних загроз і вразливостей у кіберпросторі. Розроблено всі необхідні етапи процесу виявлення загроз та вразливостей, починаючи зі збору та попередньої обробки даних і закінчуючи навчанням моделі, здатної обробляти «сирі» неструктуровані дані з хакерських форумів. Досліджено застосування шести популярних алгоритмів машинного навчання: k найближчих сусідів (kNN), Випадкового Лісу, Наївного Байєса, Логістичної Регресії, Опорних Векторів (SVM) та Дерева Рішень з метою визначення їхньої ефективності для виявлення та класифікації загроз та вразливостей. Експерименти проводилися на реальних даних (150000 месенджерів). Визначено, що найкраще з завданням впорався алгоритм Випадкового Лісу (accuracy=0,89, recall=0,84, precision=0,91, F1-score=0,87 та ROC-AUC=0,89). Запропонований інструмент на основі машинного навчання не лише збирає дані, що становлять потенційну загрозу, але й обробляє та класифікує їх за заданими ключовими словами. Це дозволяє виявляти загрози та вразливості з високою швидкістю. Результати дослідження дозволяють виявити тенденції розвитку потенційних загроз та вразливостей. Це сприятиме вдосконаленню систем кібербезпеки та забезпечить більш надійний захист інформаційних ресурсів.

Ключові слова: кібербезпека, хакерський форум, ідентифікація загроз, класифікація даних, машинне навчання.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.306179

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО ВИЯВЛЕННЯ ВІДМОВ КАНАЛІВ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ (с. 28–36)

О. В. Шматко, С. П. Євсєєв, О. В. Мілов, К. В. Спорішев, І. Р. Опірський, С. І. Глухов, Є. Г. Руденко, А. Д. Наливайко, С. Ю. Даков, О. М. Сампір

Об'єктом дослідження є канали передачі інформації при контролі інформаційно-аналітичної системи прийняття рішень. Розвиток високих технологій та обчислювальних можливостей забезпечує еволюційний розвиток смарт-технологій та соціокіберфізичних систем з одного боку. З іншого – формує комплексування цільових (змішаних) атак з можливістю комплексування з методами соціальної інженерії. Крім цього, мобільні технології суттєво збільшують можливості у швидкості передачі даних. Однак при цьому

забезпечується тільки послуга автентичності, що не забезпечує повний спектр послуг безпеки. В таких умовах актуальним завданням на етапі прийняття рішень є використання допоміжних систем, які забезпечують адекватність рішень та оперативність їх прийняття. Запропонована математична модель інформаційно-аналітичної системи дозволяє розраховувати основні технічні характеристики каналів передачі інформації та виявляти їх можливі відмови. Використання інформаційно-аналітичної системи спрощує процес прийняття рішень, дозволяє підвищити достовірність таких рішень за рахунок збільшення рівня автоматизації. Збільшення рівня автоматизації у процесі прийняття рішень прибирає суб'єктивні фактори і рішення залежить від наявності інформації. Тому надійність функціонування каналів передачі інформації інформаційно-аналітичної системи істотно впливає на якість прийнятих рішень. Розроблена модель дозволяє забезпечити необхідний рівень надійності каналів передачі інформації. Отримані результати пояснюються визначенням залежності між параметрами інформаційно-аналітичної системи та їх впливом на якість передачі інформації каналами. Результати дослідження можуть бути використані на практиці при розгляді систем із обмеженою кількістю станів при функціонуванні.

Ключові слова: адекватність рішень, верифікація, відмова, імітаційне моделювання, інформація, часова матриця, модель, мережа Петрі, надійність.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.306520

ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ МАЛОГАБАРИТНИХ РАДАРІВ В МЕРЕЖІ З КОГЕРЕНТНОЮ ОБРОБКОЮ СИГНАЛІВ ПРИ ВИЯВЛЕННІ МАЛОПОМІТНИХ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ (с. 37–45)

Г. В. Худов, О. М. Маковейчук, І. М. Бутко, М. В. Мурзін, А. А. Звонко, А. А. Адаменко, Д. В. Башинський, О. В. Сальник, А. М. Нищук, В. Г. Худов

Об'єктом дослідження є процес визначення кількості малогабаритних радарів в мережі при виявленні малопомітних повітряних об'єктів. Основна гіпотеза дослідження полягала в тому, що визначення оптимальної кількості малогабаритних радарів в мережі дозволить не витрачати зайвий ресурс радарів для виявлення малопомітних повітряних об'єктів.

Основними етапами виявлення малопомітного повітряного об'єкту мережею малогабаритних радарів є:

- приймання відбитого від малопомітного повітряного об'єкта сигналу всіма малогабаритними радарми мережі;
- узгоджена фільтрація вхідних сигналів в кожному малогабаритному радарі;
- компенсація фазових зсувів в кожному узгодженому фільтрі;
- когерентне додавання вихідних сигналів з кожного узгодженого фільтра на виході приймачів кожного з N малогабаритних радарів, що здійснюють приймання;

– формування комплексної обвідної на виході відповідного доплерівського каналу в кожному малогабаритному радарі мережі;

- когерентна обробка сигналів від всіх елементів мережі малогабаритних радарів;
- детектування вихідного сигналу з суматора когерентних сигналів. При цьому також проводиться компенсація випадкової початкової фази відбитих від малопомітного повітряного об'єкту сигналів.

Встановлено, що збільшення елементів мережі малогабаритних радарів підвищує значення умовної імовірності правильного виявлення. Таке підвищення більш суттєво при підвищенні кількості елементів в мережі малогабаритних радарів до двох, до трьох. Проведено оцінку виграшу у відношенні сигнал/шум при додаванні елементів в мережу малогабаритних радарів. Встановлено, що оптимальна кількість малогабаритних радарів в мережі з когерентною обробкою сигналів при виявленні малопомітних повітряних об'єктів складає 2–3 радари.

Ключові слова: малогабаритний радар, виявлення повітряного об'єкту, кількість елементів мережі, умовна імовірність правильного виявлення.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.305623

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ МОДЕЛЮВАННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ПОРТРЕТІВ ОБ'ЄКТІВ СКЛАДНОЇ ФОРМИ ДЛЯ СИСТЕМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ (с. 46–59)

М. М. Комар, А. К. Серебряков, Р. М. Тимчишин, С. О. Бондар

Об'єктом дослідження є моделювання радіолокаційних портретів (РЛП) для систем інтелектуального розпізнавання, що базуються на використанні фацетних 3D-моделей. Для вирішення задач ідентифікації цілей в системах самонаведення високоточної ракетної зброї необхідна технологія що дозволить ефективно та швидко генерувати РЛП військових об'єктів складної форми у необхідній кількості.

Отримані результати дослідження ґрунтуються на поєднанні окремих складових технологій, зокрема: розроблені технології використання фацетних 3D-моделей – їх побудови і подальшої обробки з виключеними з них невидимими поверхнями з довільного ракурсу спостереження. Базовою частиною роботи є розроблення алгоритму та технологічних процедур формування просторової решітки трасування для поточного ракурсу спостереження. Особливістю запропонованої технології є застосування процедури відбору фацетів із використанням масиву фацетів трасування та застосування принципу Гюйгенса-Френеля для розпізнавання об'єктів складної форми.

Було сформовано базу даних РЛП військових об'єктів складної форми. Наведено результати моделювання фацетних РЛП, зокрема броньованого катеру «Гюрза-М». Наведено процедури їх обробки.

Результати експериментального дослідження показали можливість розпізнавати тип військового об'єкту складної форми на рівні 80–90 %, що робить застосування цієї технології доцільним для розпізнавання військових об'єктів складної форми.

Досягнуті швидкісні та якісні характеристики генерування РЛП військових об'єктів складної форми дозволяє припустити як головну перспективну сферу практичного застосування: ідентифікацію та образну інтерпретацію цілей в системах самонаведення високоточної ракетної зброї.

Ключові слова: радіолокаційний сигнал, радіолокаційні портрети цілей, інтелектуальне розпізнавання, фацетні моделі, завади.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.303989**ВИКОРИСТАННЯ СУКУПНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНИХ ОЗНАК ОБ'ЄКТА ПРИВ'ЯЗКИ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ВИРІШАЛЬНОЇ ФУНКЦІЇ СИСТЕМОЮ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ ПРИ МІСЦЕВИЗНАЧЕННІ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ (с. 60–69)****О. М. Сотніков, В. Ю. Тюріна, К. Е. Петров, В. А. Лук'янова, О. Ф. Лановий, Ю. М. Онищенко, Ю. В. Гнусов, С. В. Петров, О. І. Бойченко, П. П. Бреус**

Об'єктом дослідження є процес формування вирішальної функції оптико-електронною системою технічного зору в умовах впливу завад на поточне зображення, що формується в процесі місцевизначення мобільного роботу. В статті наведено результати вирішення проблеми формування вирішальної функції при зниженні відношення сигнал-шум поточного зображення шляхом використання сукупності інформативних ознак для здійснення селекції об'єкта прив'язки, а саме, яскравості, контрасту та його площі. Селекцію об'єкта прив'язки запропоновано здійснювати шляхом вибору відповідних значень порогів квантування поточного зображення для обраних інформативних ознак з урахуванням відношення сигнал-шум, при якому забезпечуються необхідна ймовірність селекції об'єкта. Встановлена залежність ймовірності селекції об'єкта від обраних значень величини порогів квантування. Використання отриманих результатів забезпечить формування унімодальної вирішальної функції при здійсненні місцевизначення мобільних роботів на поверхнях візування зі слабо вираженими яскравісними та контрастними характеристиками об'єктів, а також при їх малих геометричних розмірах. Шляхом моделювання оцінено ймовірність формування вирішальної функції в залежності від ступеня зашумленості поточних зображень. Показано, що застосування запропонованого підходу відповідно дозволяє здійснювати селекцію об'єктів з ймовірністю в межах від 0.78 до 0.99 для значень відношення сигнал-шум зображень, що формуються системою технічного зору в реальних умовах. Метод формування вирішальної функції в умовах впливу завад може бути реалізований в алгоритмах обробки інформації, що використовуються в оптико-електронних системах технічного зору для здійснення навігації безпілотних літальних апаратів.

Ключові слова: мобільний робот, вирішальна функція, інформаційні ознаки, пороги квантування, відношення сигнал-шум.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.306227**РОЗРОБКА ПРОЦЕДУРИ ФРАГМЕНТУВАННЯ АСТРОНОМІЧНИХ КАДРІВ ДЛЯ ПРИСКОРЕННЯ ВИСОКОЧАСТОТНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ (с. 70–77)****В. П. Власенко, С. В. Хламов, В. Є. Саваневич, Т. О. Трунова, Ж. В. Дейнеко, І. С. Табакова**

Об'єктом дослідження є процес фільтрації астрономічних кадрів, які містять зображення потенційних об'єктів Сонячної системи. Для виконання оконтурювання зображення кожного такого об'єкта та розпізнавання його на контрасті з фоновою підкладкою кадру необхідно проводити фільтрацію зображення. Найчастіше використовуються різноманітні високочастотні фільтри для визначення високочастотної компоненти зображення, яка може бути видалена як великоструктурна складова. Будь-яка фільтрація зображення спрямована на підвищення відношення сигнал/шум та зменшення динамічного діапазону фонової підкладки зображення. Однак процес фільтрації досить ресурсо- і часовитратний. Особливо це відчувається у системах паралельної обробки серії астрономічних кадрів у реальному часі (онлайн). Тому для вирішення проблеми з відсутністю фрагментування кадрів, що призводить до великого споживання оперативної пам'яті, було запропоновано процедуру фрагментування астрономічних кадрів.

Завдяки введенню формального зв'язку значень пікселів кадру та фрагментів, а також визначення їх кількості дало можливість зменшити споживання оперативної пам'яті. Тестування проходило з використанням таких високочастотних фільтрів – ідеальний фільтр, фільтр Баттерворта та фільтр Гауса. Використання розробленої процедури фрагментування астрономічних кадрів дозволило знизити споживання оперативної пам'яті під час фільтрації. Як наслідок, при паралельній обробці це дозволило також прискорити і саму процедуру високочастотної фільтрації.

Розроблена процедура фрагментування астрономічних кадрів була апробована практично в рамках проекту CoLiТес. Вона була впроваджена в On-Line Data Analysis System (OLDAS) програмного забезпечення Lemug.

Дослідження показало, що при застосуванні розробленої процедури споживання оперативної пам'яті було знижено у 7–10 разів. А швидкість самої фільтрації була збільшена у 2–3 рази. Відповідно, і час обробки кожного астрономічного кадру скоротився в 2–3 рази.

Ключові слова: фрагментування кадрів, багатопроцесорність, високочастотна фільтрація, ідеальний фільтр, фільтр Баттерворта, фільтр Гауса.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.304129**ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ІНФОРМАЦІЇ В СИСТЕМАХ ПОЗИЦІОНУВАННЯ НА АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ПАРАЛЕЛЬНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО РЕЗЕРВУВАННЯ (с. 78–92)****А. Н. Аль-Амморі, В. С. Харута, А. Є. Клочан, О. П. Шкурко, Х. А. Аль-Амморі**

Об'єктом дослідження є достовірність інформації в інформаційно-керуючих системах. Робота присвячена вирішенню важливої науково-практичної проблеми – підвищенню достовірності інформації в системах контролю в режимі реального часу, зокрема в системах позиціонування на автомобільному транспорті. Для вирішення поставленої проблеми запропоноване застосування інформаційного резервування, зокрема паралельного інформаційного резервування. В роботі проведено дослідження впливу ймовірності появи контрольованої події, коефіцієнту мажоритарності, а також кількості і якості датчиків інформації на достовірність

інформації в інформаційно-керуючій системі з паралельним інформаційним резервуванням. Для зазначених залежностей в роботі побудовані відповідні графіки. В роботі було показано, що зміна якості датчиків інформації на 20 % може вести до підвищення достовірності інформації на понад 0,5. Також в роботі показано, що зростання показника мажоритарності на 1 може вести до зміни достовірності інформації на понад 0,3. В роботі проведено дослідження систем паралельного інформаційного резервування з різною структурою та визначені формули для розрахунку ймовірнісних характеристик їх роботи. Математичне моделювання проведене з врахуванням ймовірності появи контрольованої події, що дозволило визначити тенденції до побудови інформаційно-керуючих систем з паралельним інформаційним резервуванням для контролю подій зі змінною ймовірністю появи. Отримані результати ґрунтуються на теорії ймовірності. Отримані в роботі результати можуть бути використані при побудові інформаційно-керуючої системи з програмно змінною структурою, для контролю появи події зі змінною ймовірністю появи, зокрема в системах позиціонування на автомобільному транспорті.

Ключові слова: безпека інформації, датчики інформації, достовірність інформації, інформаційне резервування, система позиціонування.