

ABSTRACT AND REFERENCES

INFORMATION AND CONTROLLING SYSTEM

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.335592

RECONSTRUCTING MISSING GLOBAL POSITIONING DATA WITH ZERO-SHOT LARGE LANGUAGE MODELS (p. 6–18)

Roman Ilechko

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0009-0006-8208-5109>**Orest Borovy**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0009-0008-2069-5336>**Kyrylo Yemets**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5157-9118>**Yurii Tsymbal**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9119-6771>

This study focuses on the reconstruction of missing GPS trajectory data. The principal issue relates to restoring geospatial coordinates in the absence of large volumes of labeled data and under conditions where conventional spatial-temporal models demonstrate limited generalization capabilities.

This paper proposes a large language model-based approach to address the reconstruction task without requiring prior training on specialized datasets. To reduce dependence on domain-specific features, the focus was on optimizing data preprocessing and constructing effective prompts. Three coordinate representations have been explored: original degree-based values (using the VPAIR dataset), the Earth-Centered, Earth-Fixed (ECEF) system, and ECEF coordinates shifted relative to the starting point of the trajectory.

Experimental results show that using centered ECEF coordinates reduces the mean absolute error (MAE) by 51–59% for both latitude and longitude compared to other representations. Conversion to the ECEF system also demonstrates selective advantages in latitude reconstruction. To mitigate the instability of autoregressive prediction, a multi-iteration reconstruction strategy with result aggregation has been implemented. The open-source model LLaMA 3.2 achieved the highest accuracy (MAE: 36.57 for latitude and 52.14 for longitude), outperforming both other open models and the commercial GPT-4o.

The proposed approach can be considered a viable post-processing tool, particularly in missions involving unmanned aerial vehicles or other mobile platforms where part of the GPS data has been lost during acquisition.

Keywords: large language models, missing values, neural networks, imputation, prompt tuning.

References

- Chang, Y., Cheng, Y., Manzoor, U., Murray, J. (2023). A review of UAV autonomous navigation in GPS-denied environments. *Robotics and Autonomous Systems*, 170, 104533. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2023.104533>
- Khan, S. Z., Mohsin, M., Iqbal, W. (2021). On GPS spoofing of aerial platforms: a review of threats, challenges, methodologies, and future research directions. *PeerJ Computer Science*, 7, e507. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.507>
- Gao, Q., Molloy, J., Axhausen, K. W. (2021). Trip Purpose Imputation Using GPS Trajectories with Machine Learning. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10 (11), 775. <https://doi.org/10.3390/ijgi10110775>
- Zhang, S., Gong, L., Zeng, Q., Li, W., Xiao, F., Lei, J. (2021). Imputation of GPS Coordinate Time Series Using missForest. *Remote Sensing*, 13 (12), 2312. <https://doi.org/10.3390/rs13122312>
- Liu, H., Li, L. (2022). Missing Data Imputation in GNSS Monitoring Time Series Using Temporal and Spatial Hankel Matrix Factorization. *Remote Sensing*, 14 (6), 1500. <https://doi.org/10.3390/rs14061500>
- Floridi, L., Chiriatti, M. (2020). GPT-3: Its Nature, Scope, Limits, and Consequences. *Minds and Machines*, 30 (4), 681–694. <https://doi.org/10.1007/s11023-020-09548-1>
- Achiam, J., Adler, S., Agarwal, S., Ahmad, L., Akkaya, I., Aleman, F. L. et al. (2023). GPT4 Technical Report. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2303.08774>
- Touvron, H., Lavril, T., Izacard, G., Martinet, X., Lachaux, M.A., Lacroix, T. et al. (2023). LLaMA: Open and Efficient Foundation Language Models. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2302.13971>
- Touvron, H., Martin, L., Stone, K., Albert, P., Almahairi, A., Babaei, Y. et al. (2023). LLaMA 2: Open foundation and finetuned chat models. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2307.09288>
- Grattafiori, A., Dubey, A., Jauhri, A., Pandey, A., Kadian, A., AlDahle, A. et al. (2024). The Llama 3 herd of models. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2407.21783>
- Riviere, M., Pathak, S., Sessa, P. G., Hardin, C., Bhupatiraju, S., Husenot, L. et al. (2024). Gemma 2: Improving open language models at a practical size. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2408.00118>
- Gruver, N., Finzi, M., Qiu, S., Wilson, A. G. (2023). Large language models are zeroshot time series forecasters. *NeurIPS* 36, 19622–19635. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2310.07820>
- Gu, Y., Han, X., Liu, Z., Huang, M. (2022). PPT: Pre-trained Prompt Tuning for Few-shot Learning. *Proceedings of the 60th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers)*. Dublin: Association for Computational Linguistics, 8410–8423. <https://doi.org/10.18653/v1/2022.acl-long.576>
- Tsmots, I., Teslyuk, V., Opotyak, Y., Rabyk, V. (2023). Intelligent motion control system for the mobile robotic platform. 7th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems. Kharkiv: CEUR Workshop Proceedings. Available at: <https://ceur-ws.org/Vol-3403/paper42.pdf>
- Wang, Y., Feng, Z., Zhang, H., Gao, Y., Lei, J., Sun, L. et al. (2024). Angle Robustness Unmanned Aerial Vehicle Navigation in GNSS-Denied Scenarios. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 38 (9), 10386–10394. <https://doi.org/10.1609/aaai.v38i9.28906>
- Junninen, H., Niska, H., Tuppurainen, K., Ruuskanen, J., Kolehmainen, M. (2004). Methods for imputation of missing values in air quality data sets. *Atmospheric Environment*, 38 (18), 2895–2907. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.02.026>
- van Buuren, S., Groothuis-Oudshoorn, K. (2011). mice: Multivariate Imputation by Chained Equations in R. *Journal of Statistical Software*, 45 (3), 1–67. <https://doi.org/10.18637/jss.v045.i03>

18. Oliver, M. A., Webster, R. (2014). A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging. *CATENA*, 113, 56–69. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.09.006>
19. Murti, D. M. P., Pujianto, U., Wibawa, A. P., Akbar, M. I. (2019). K-Nearest Neighbor (K-NN) based Missing Data Imputation. 2019 5th International Conference on Science in Information Technology. Yogyakarta: IEEE, 83–88. <https://doi.org/10.1109/icsitech46713.2019.8987530>
20. Che, Z., Purushotham, S., Cho, K., Sontag, D., Liu, Y. (2018). Recurrent Neural Networks for Multivariate Time Series with Missing Values. *Scientific Reports*, 8 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24271-9>
21. Asadi, R., Regan, A. C. (2019). A convolution recurrent autoencoder for spatiotemporal missing data imputation. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1904.12413>
22. Nag, P., Sun, Y., Reich, B. J. (2023). Spatio-temporal DeepKriging for interpolation and probabilistic forecasting. *Spatial Statistics*, 57, 100773. <https://doi.org/10.1016/j.spasta.2023.100773>
23. You, J., Ma, X., Ding, D. Y., Kochenderfer, M., Leskovec, J. (2020). Handling missing data with graph representation learning. *NIPS'20*, 19075–19087. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2010.16418>
24. Chorowski, J., Bahdanau, D., Serdyuk, D., Cho, K., Bengio, Y. (2015). Attentionbased models for speech recognition. *NIPS'15*, 577–585. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1506.07503>
25. Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gómez, A. N. et al. (2017). Attention is all you need. *NIPS'17*, 6000–6010. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1706.03762>
26. Schleiss, M., Rouatbi, F., Cremers, D. (2022). VPAIR – Aerial visual place recognition and localization in large-scale outdoor environments. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2205.11567>
27. Enge, P. K. (1994). The Global Positioning System: Signals, measurements, and performance. *International Journal of Wireless Information Networks*, 1 (2), 83–105. <https://doi.org/10.1007/bf02106512>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.335723

DESIGN OF A FRAMEWORK FOR SERVERLESS DISTRIBUTED DATA PROCESSING USING QUEUES (p. 19–25)

Oleksandr Kyrychenko

Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsi, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6982-3342>

Serhii Ostapov

Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsi, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4139-4152>

Oksana Kyrychenko

Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsi, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0282-9958>

This study's object is the organization of distributed data processing in cloud environments using serverless computing.

The evolution of serverless computing has led to a change in approaches to building the architecture of applications deployed in the cloud. The ability to abstract from infrastructure management while achieving cost-effectiveness is becoming a significant task requiring new tools. One such tool is a new framework that makes it possible to scale computing resources depending on the workload dynamically, store the state of the computing process using DynamoDB, and provide real-time progress tracking.

A serverless application for the distributed generation of PDF documents has been developed and deployed to test the proposed framework. The real load was emulated using Locust; files containing 1,025,132 records were fed to the application input. The results of the experiments showed that the application started to work 25.8% faster, the throughput increased by 21.3%, and the number of cold starts decreased by 3% compared to conventional scaling.

Additionally, the main areas of further research on developing and improving the designed framework have been identified. This study provides possibilities for predictive automatic scaling using semi-Markov process models in a serverless environment.

Unlike traditional reactive approaches, the proposed approach predicts changes in advance and proactively scales parts of the application, which makes it possible to reduce delays and avoid cold starts. The framework could be used to develop serverless applications for distributed data processing using message queues and the ability to monitor the processing in real time.

Keywords: serverless architecture, predictive autoscaling, cloud computing, distributed data processing.

References

1. Thumala, S. (2020). Building Highly Resilient Architectures in the Cloud. *Nanotechnology Perceptions*, 16 (2), 264–284.
2. Mampage, A., Karunasekera, S., Buyya, R. (2025). A deep reinforcement learning based algorithm for time and cost optimized scaling of serverless applications. *Future Generation Computer Systems*, 173, 107873. <https://doi.org/10.1016/j.future.2025.107873>
3. Sohani, M., Jain, S. C. (2021). A Predictive Priority-Based Dynamic Resource Provisioning Scheme With Load Balancing in Heterogeneous Cloud Computing. *IEEE Access*, 9, 62653–62664. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3074833>
4. Beikzadeh Abbasi, F., Rezaee, A., Adabi, S., Movaghar, A. (2023). Fault-tolerant scheduling of graph-based loads on fog/cloud environments with multi-level queues and LSTM-based workload prediction. *Computer Networks*, 235, 109964. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2023.109964>
5. Ghorbian, M., Ghobaei-Arani, M. (2024). A survey on the cold start latency approaches in serverless computing: an optimization-based perspective. *Computing*, 106 (11), 3755–3809. <https://doi.org/10.1007/s00607-024-01335-5>
6. Tari, M., Ghobaei-Arani, M., Pouramini, J., Ghorbian, M. (2024). Auto-scaling mechanisms in serverless computing: A comprehensive review. *Computer Science Review*, 53, 100650. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2024.100650>
7. Manchana, R. (2020). Operationalizing Batch Workloads in the Cloud with Case Studies. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 9 (7), 2031–2041. <https://doi.org/10.21275/sr24820052154>
8. Alharthi, S., Alshamsi, A., Alseieri, A., Alwarafy, A. (2024). Auto-Scaling Techniques in Cloud Computing: Issues and Research Directions. *Sensors*, 24 (17), 5551. <https://doi.org/10.3390/s24175551>
9. Taha, M. B., Sanjalawe, Y., Al-Daraiseh, A., Fraihat, S., Al-E'mari, S. R. (2024). Proactive Auto-Scaling for Service Function Chains in Cloud Computing Based on Deep Learning. *IEEE Access*, 12, 38575–38593. <https://doi.org/10.1109/access.2024.3375772>
10. Verma, S., Bala, A. (2021). Auto-scaling techniques for IoT-based cloud applications: a review. *Cluster Computing*, 24 (3), 2425–2459. <https://doi.org/10.1007/s10586-021-03265-9>

11. Kyrychenko, O. (2024). Real-time communication tools for web applications in a cloud environment. The 13th International Conference on Electronics, Communications and Computing's (IC ECCO), 127–128. Available at: <https://ecco.utm.md/wp-content/uploads/2024/12/IC-ECCO-2024-AbstractBookBN.pdf>
12. Nastic, S., Rausch, T., Scekcic, O., Dustdar, S., Gusev, M., Koteska, B. et al. (2017). A Serverless Real-Time Data Analytics Platform for Edge Computing. *IEEE Internet Computing*, 21 (4), 64–71. <https://doi.org/10.1109/mic.2017.2911430>
13. Kaur, N., Mittal, A. (2021). Fog Computing Serverless Architecture for Real Time Unpredictable Traffic. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1022 (1), 012026. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1022/1/012026>
14. Amazon Simple Storage Service Documentation. Amazon Web Services. Available at: <https://docs.aws.amazon.com/s3>
15. Amazon Simple Queue Service. Amazon Web Services. Available at: <https://aws.amazon.com/sqs>
16. Amazon Web Services. (2025). What is AWS Lambda? Available at: <https://docs.aws.amazon.com/lambda/latest/dg/welcome.html>
17. Amazon Web Services. (2025). Amazon DynamoDB. Available at: <https://aws.amazon.com/dynamodb/>.
18. What is AWS AppSync? Amazon Web Services. Available at: <https://docs.aws.amazon.com/appsync/latest/devguide/what-is-appsync.html>
19. Amazon SageMaker. Amazon Web Services. Available at: <https://aws.amazon.com/sagemaker/>
20. Amazon EventBridge. Amazon Web Services. Available at: <https://aws.amazon.com/eventbridge/>
21. Rojas, L., Yepes, V., Garcia, J. (2025). Complex Dynamics and Intelligent Control: Advances, Challenges, and Applications in Mining and Industrial Processes. *Mathematics*, 13 (6), 961. <https://doi.org/10.3390/math13060961>
22. Kyrychenko, O. O., Ostapov, S. E., Kyrychenko, O. L. (2025). Optimization of SQS Configurations for Efficient Batch Data Processing. *WSEAS Transactions On Systems*, 24, 36–43. Portico. <https://doi.org/10.37394/23202.2025.24.4>
23. Golec, M., Walia, G. K., Kumar, M., Cuadrado, F., Gill, S. S., Uhlig, S. (2024). Cold Start Latency in Serverless Computing: A Systematic Review, Taxonomy, and Future Directions. *ACM Computing Surveys*, 57 (3), 1–36. <https://doi.org/10.1145/3700875>
24. Saravana Kumar, N., Selvakumara Samy, S. (2025). Cold Start Prediction and Provisioning Optimization in Serverless Computing Using Deep Learning. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 37 (4-5). <https://doi.org/10.1002/cpe.8392>
25. Nguyen, T. N. (2024). Holistic cold-start management in serverless computing cloud with deep learning for time series. *Future Generation Computer Systems*, 153, 312–325. <https://doi.org/10.1016/j.future.2023.12.011>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.335729

SPEEDING UP BINOMIAL COMPRESSION BASED ON BINOMIAL NUMBERS (p. 26–33)

Igor Kulyk

Sumy State University, Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2403-8671>

Maryna Shevchenko

Sumy State University, Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1434-5996>

Vitalii Grynenko

Sumy State University, Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4039-7877>

Maksym Hermes

Sumy State University, Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5447-4365>

This study's object is adaptive compression of general-form binary sequences based on binary binomial numbers.

The task addressed is to enable high compression speed of binary information based on binomial numbers under the condition of uncertainty in the characteristics of the binary sequences being compressed.

One of the factors that reduce the efficiency of binomial compression is uncontrolled transitions of the number of unit combinations to the region of inefficient use, the worst compression ratios.

In this regard, the work applies an adaptive approach to binomial compression, based on the choice of an encoding technique depending on the number of units of the processed sequence.

This approach yields the following result: a several-fold reduction in the amount of time spent processing binary combinations that are not compressible. Consequently, this leads to an increase in the average speed of binomial compression with a small, up to three to five percent, decrease in the compression ratio.

The adaptive compression process model includes the stages of comparing the calculated numbers of binary units with the compression conditions and selecting the coding technique based on binary binomial numbers. If the current value of the number of units goes beyond the compression conditions, the calculation of the number of units is stopped, and the processed sequence remains unchanged. This eliminates unnecessary time costs when the compression ratio becomes less than unity.

In practice, the adaptive approach to compression based on binary binomial numbers is effective in the case when the binary sequences being compressed have uncertain characteristics, and their preliminary evaluation is impossible or difficult.

Keywords: adaptive compression, binomial numbers, coding selection, binomial-vector method, compression time.

References

1. Jerzy, S. A. (2013). *Information Systems and Data Compression*. Springer, 494. https://doi.org/10.1007/978-0-585-27999-2_6
2. Routray, S. K., Javali, A., Sharmila, K. P., Semunigus, W., Pappa, M., Ghosh, A. D. (2020). Lossless Compression Techniques for Low Bandwidth Networks. 2020 3rd International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS), 823–828. <https://doi.org/10.1109/iciss49785.2020.9315936>
3. Salomon, D. (2010). *Handbook of Data Compression*. Springer, 1383. <https://doi.org/10.1007/978-1-84882-903-9>
4. Li, Z.-N., Drew, M. S., Liu, J. (2021). *Fundamentals of Multimedia*. Springer International Publishing Switzerland, 824. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-62124-7>
5. Duda, J., Tahboub, K., Gadgil, N. J., Delp, E. J. (2015). The use of asymmetric numeral systems as an accurate replacement for Huffman coding. 2015 Picture Coding Symposium (PCS), 65–69. <https://doi.org/10.1109/pcs.2015.7170048>
6. Mrudula, S. T., Srinivasa Murthy, K. E., Prasad, M. N. G. (2022). Optimized Context-Adaptive Binary Arithmetic Coder in Video Compression Standard Without Probability Estimation. *Mathematical*

cal Modelling of Engineering Problems, 9 (2), 458–462. <https://doi.org/10.18280/mmep.090222>

7. Stakhov, A. (2016). Fibonacci p-codes and Codes of the “Golden” p-proportions: New Informational and Arithmetical Foundations of Computer Science and Digital Metrology for Mission-Critical Applications. *British Journal of Mathematics & Computer Science*, 17 (1), 1–49. <https://doi.org/10.9734/bjmcs/2016/25969>
8. Borysenko, O. A., Horiachev, O. Ye., Serdiuk, V. V., Yermakov, M. S. (2018). Information protection problems of factorial numbers. *Ukrainian Scientific Journal of Information Security*, 24 (3), 169–174. <https://doi.org/10.18372/2225-5036.24.13069>
9. Borysenko, O., Matsenko, S., Bobrovs, V. (2021). Binomial Number System. *Applied Sciences*, 11 (23), 11110. <https://doi.org/10.3390/app112311110>
10. Luzhetskyyi, V. A., Savytska, L. A. (2015). Development and research of adaptive data compression methods based on linear fibonacci form. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (9 (73)), 16–22. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.37026>
11. Borysenko, A. A. (2004). *Bynomiyalnyi schet. Teoriya y praktyka*. Sumi: YTD «Unyversytetskaia knyha», 170. Available at: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/55161>
12. Borisenko, A. A., Kulik, I. A. (2010). *Binomialnoe kodirovanie*. Sumy: Izd-vo SumGU, 206.
13. Schalkwijk, J. (1972). An algorithm for source coding. *IEEE Transactions on Information Theory*, 18 (3), 395–399. <https://doi.org/10.1109/tit.1972.1054832>
14. Cover, T. (1973). Enumerative source encoding. *IEEE Transactions on Information Theory*, 19 (1), 73–77. <https://doi.org/10.1109/tit.1973.1054929>
15. Butler, J. T., Sasao, T. (2011). Fast constant weight codeword to index converter. 2011 IEEE 54th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS), 1–4. <https://doi.org/10.1109/mwscas.2011.6026312>
16. Borysenko, O., Matsenko, S., Salgals, T., Spolitis, S., Bobrovs, V. (2022). The Lossless Adaptive Binomial Data Compression Method. *Applied Sciences*, 12 (19), 9676. <https://doi.org/10.3390/app12199676>
17. Kulyk, I., Berezna, O., Shevchenko, M. (2018). Development of data compressing coding methods on basis of binary binomial numbers. *Technology Audit and Production Reserves*, 2 (2 (46)), 12–18. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2019.169897>
18. Kulyk, I. A., Novhorodtsev, A. Y., Shevchenko, M. S. (2019). Method for borders estimation of compression on basis of binary binomial numbers. *Systemy obrobky informatsii*, 2 (157), 57–62. <https://doi.org/10.30748/soi.2019.157.07>
19. Reingold, M. E., Nievegelt, J., Deo, N. (1977). *Combinatorial Algorithms: Theory and Practice*. Pearson College Div, 930.
20. Kulyk, I. A. (2004). O srednei dlyne dvoynnykh bynomialnykh chysel. *Visnyk Sumskoho derzhavnoho universytetu. Seriya «Tekhnichni nauky»*, 12 (71), 106–112.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.335630

ENHANCED IDENTIFICATION OF ILLICIT BITCOIN TRANSACTIONS THROUGH GENETIC ALGORITHM-BASED FEATURE SELECTION (p. 34–42)

Medet Shaizat

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1651-8205>

Shynar Mussiraliyeva

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

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5794-3649>

The object of this study is the process of classifying illicit Bitcoin transactions in blockchain datasets. The problem addressed in this work is the difficulty of detecting suspicious activity in cryptocurrency networks due to the high dimensionality of transaction data and the lack of semantic labels, which limits the effectiveness of conventional manual feature engineering. The proposed method combines domain-specific indicators of illicit behavior with a Genetic Algorithm-driven selection mechanism that dynamically evolves informative feature subsets. The developed framework was implemented and evaluated on the Elliptic and Elliptic++ datasets using random forest. The results obtained demonstrate that the GA-based method significantly increases model performance: the best-performing configuration achieved an F1-score of 84.3%, a precision of 99.4%, and a recall of 73.1%. Compared to baseline approaches on the same dataset, this method provides relative improvements of 0.9% in F1-score, 0.3% in precision, and 1.2% in recall. The effectiveness of the proposed solution is explained by its ability to detect hidden patterns in transactional data with many potential attributes without resorting to manual heuristics, as well as an optimized setting of Genetic Algorithm parameters. A distinctive feature of this method is the combination of heuristic search with domain-informed feature categories, which improves classification accuracy and reduces model complexity. The obtained results can be applied in practical scenarios such as forensic analysis of cryptocurrency transactions. However, successful implementation requires access to historical transaction records and sufficient computing resources to process large, feature-rich datasets.

Keywords: bitcoin, illicit transactions, machine learning, genetic algorithms, cryptocurrency forensics.

References

1. Berentsen, A., Schar, F. (2018). The Case for Central Bank Electronic Money and the Non-case for Central Bank Cryptocurrencies. *Review*, 100 (2), 97–106. <https://doi.org/10.20955/r.2018.97-106>
2. Gajdek, S., Kozak, S. (2019). Bitcoin as an Electronic Payment Tool. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach. Seria: Administracja i Zarządzanie*, 47 (120), 33–39. <https://doi.org/10.34739/zn.2019.47.04>
3. Bunjaku, F., Gjorgieva-Trajkovska, O., Kacarski, E. M. (2017). Cryptocurrencies – advantages and disadvantages. *Journal of Economics*, 2 (1), 31–39.
4. Sicignano, G. J. (2021). Money Laundering using Cryptocurrency: The Case of Bitcoin! *Athens Journal of Law*, 7 (2), 253–264. <https://doi.org/10.30958/ajl.7-2-7>
5. How terrorist groups are exploiting crypto to raise funds and evade detection. *Elliptic*. Available at: <https://www.elliptic.co/blog/how-terrorist-organizations-are-exploiting-crypto-to-raise-funds-and-evade-detection> Last accessed: 18.03.2024
6. Crypto crime mid-year update: Crime down 65% overall, but ransomware headed for huge year thanks to return of big game hunting (2023). *Chainalysis Team*. Available at: <https://www.chainalysis.com/blog/crypto-crime-midyear-2023-update-ransomware-scams/> Last accessed: 18.03.2024
7. Crypto Crime Trends: Illicit Volumes Portend Record Year as On-Chain Crime Becomes Increasingly Diverse and Professionalized

- (2025). Chainalysis Team. Available at: <https://www.chainalysis.com/blog/2025-crypto-crime-report-introduction/> Last accessed: 15.02.2025
8. Chuen, D. L. K. (2015). Handbook of Digital Currency: Bitcoin, Innovation, Financial Instruments, and Big Data. London: Academic Press. Available at: https://www.researchgate.net/publication/286223926_Handbook_of_Digital_Currency_Bitcoin_Innovation_Financial_Instruments_and_Big_Data Last accessed: 01.03.2024
 9. Weber, M., Domeniconi, G., Chen, J., Weidele, D. K. I., Bellei, C., Robinson, T., Leiserson, C. E. (2019). Anti-Money Laundering in Bitcoin: Experimenting with Graph Convolutional Networks for Financial Forensics. Proceedings of the Workshop on Anomaly Detection in Finance (KDD '19). Anchorage. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1908.02591>
 10. Alarab, I., Prakoonwit, S., Nacer, M. I. (2020). Comparative Analysis Using Supervised Learning Methods for Anti-Money Laundering in Bitcoin. Proceedings of the International Conference on Machine Learning Technologies, 11–17. <https://doi.org/10.1145/3409073.3409078>
 11. Alarab, I., Prakoonwit, S., Nacer, M. I. (2020). Competence of Graph Convolutional Networks for Anti-Money Laundering in Bitcoin Blockchain. Proceedings of the 2020 5th International Conference on Machine Learning Technologies, 23–27. <https://doi.org/10.1145/3409073.3409080>
 12. Elmougy, Y., Liu, L. (2023). Demystifying Fraudulent Transactions and Illicit Nodes in the Bitcoin Network for Financial Forensics. Proceedings of the 29th ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. Long Beach, 3979–3990. <https://doi.org/10.1145/3580305.3599803>
 13. Pham, T. B., Lee, S. (2016). Anomaly detection in bitcoin network using unsupervised learning methods. arXiv, arXiv:1611.03941. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1908.02591>
 14. Lorenz, J., Silva, M. I., Aparicio, D., Ascensão, J. T., Bizarro, P. (2020). Machine learning methods to detect money laundering in the bitcoin blockchain in the presence of label scarcity. Proceedings of the First ACM International Conference on AI in Finance. New York, 1–8. <https://doi.org/10.1145/3383455.3422549>
 15. Nerurkar, P., Bhirud, S., Patel, D., Ludinard, R., Busnel, Y., & Kumari, S. (2020). Supervised learning model for identifying illegal activities in Bitcoin. Applied Intelligence, 51 (6), 3824–3843. <https://doi.org/10.1007/s10489-020-02048-w>
 16. Tayebi, M., El Kafhali, S. (2022). Performance analysis of meta-heuristics based hyperparameters optimization for fraud transactions detection. Evolutionary Intelligence, 17 (2), 921–939. <https://doi.org/10.1007/s12065-022-00764-5>
 17. Bouchlaghem, Y., Akhiat, Y., Amjad, S. (2022). Feature Selection: A Review and Comparative Study. E3S Web of Conferences, 351, 01046. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202235101046>
 18. Breiman, L. (2001). Random Forests. Machine Learning, 45 (1), 5–32. <https://doi.org/10.1023/a:1010933404324>
 19. Katoch, S., Chauhan, S. S., Kumar, V. (2020). A review on genetic algorithm: past, present, and future. Multimedia Tools and Applications, 80 (5), 8091–8126. <https://doi.org/10.1007/s11042-020-10139-6>
 20. Contreras, R. C., Xavier da Silva, V. T., Xavier da Silva, I. T., Viana, M. S., Santos, F. L. dos, Zanin, R. B. et al. (2024). Genetic Algorithm for Feature Selection Applied to Financial Time Series Monotonicity Prediction: Experimental Cases in Cryptocurrencies and Brazilian Assets. Entropy, 26 (3), 177. <https://doi.org/10.3390/e26030177>
 21. Taha, A. A., Malebary, S. J. (2020). An Intelligent Approach to Credit Card Fraud Detection Using an Optimized Light Gradient Boosting Machine. IEEE Access, 8, 25579–25587. <https://doi.org/10.1109/access.2020.2971354>
 22. Howcroft, E. (2023). Crypto ransom attacks rise in first half of 2023, chainalysis says. Available at: <https://www.reuters.com/technology/crypto-ransom-attacks-rise-first-half-2023-chainalysis-2023-07-12/> Last accessed: 15.02.2025
 23. Aziz, R. M., Baluch, M. F., Patel, S., Ganie, A. H. (2022). LGBM: a machine learning approach for Ethereum fraud detection. International Journal of Information Technology, 14 (7), 3321–3331. <https://doi.org/10.1007/s41870-022-00864-6>
 24. Kute, D. V., Pradhan, B., Shukla, N., Alamri, A. (2021). Deep Learning and Explainable Artificial Intelligence Techniques Applied for Detecting Money Laundering—A Critical Review. IEEE Access, 9, 82300–82317. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3086230>
 25. Černevičienė, J., Kabašinskas, A. (2024). Explainable artificial intelligence (XAI) in finance: a systematic literature review. Artificial Intelligence Review, 57 (8). <https://doi.org/10.1007/s10462-024-10854-8>
-
- DOI: 10.15587/1729-4061.2025.337992**
- DESIGN OF A QKD PROTOCOL RESISTANT TO INSIDER ATTACKS IN FULLY CONNECTED DECENTRALIZED NETWORKS (p. 43–50)**
- Yenlik Begimbayeva**
Kazakh National Research Technical University after K. I. Satbayev,
Almaty, Republic of Kazakhstan
Almaty University of Power Engineering and Telecommunications
named after Gumarbek Daukeyev, Republic of Kazakhstan, Almaty
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4907-3345>
- Temirlan Zhaxalykov**
Kazakh National Research Technical University after K. I. Satbayev,
Almaty, Republic of Kazakhstan
Kazakh British Technical University, Almaty,
Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6994-6377>
- Amir Akhtanov**
Kazakh National Research Technical University after K. I. Satbayev,
Almaty, Republic of Kazakhstan
Kazakh British Technical University, Almaty,
Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4596-3722>
- Ruslan Pashkevich**
Kazakh National Research Technical University after K. I. Satbayev,
Almaty, Republic of Kazakhstan
Kazakh British Technical University, Almaty,
Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4289-9560>
- Olga Ussatova**
Kazakh National Research Technical University after K. I. Satbayev,
Almaty, Republic of Kazakhstan
Institute of Information and Computational Technologies CS MSHE
RK, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5276-6118>
- Mukaddas Arshidinova**
Kazakh National Research Technical University after K. I. Satbayev,
Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2695-6823>
- This research focuses on enhancing the security of decentralized quantum key distribution (QKD) networks, where the absence of a central authority creates significant challenges such as malicious

node infiltration, undetected key leakage, and unauthorized re-entry of revoked participants. Traditional authentication and trust models are insufficient for fully distributed QKD topologies, which remain highly vulnerable to insider threats and persistent compromise. To address these risks, let's propose a layered security framework composed of three integrated components: Challenge-Response Authentication (CRA), Dynamic Trust Scoring (DTS), and Blockchain-Based Access Control (BBAC). CRA verifies node legitimacy through randomized quantum-state interactions, significantly reducing impersonation and quantum replay attacks. DTS implements real-time trust evaluation using anomaly detection to dynamically downgrade compromised nodes based on their behavioral deviations. BBAC maintains an immutable and tamper-proof trust ledger to block revoked nodes from re-entering under falsified identities and resists Sybil attacks using post-quantum cryptographic primitives. Simulation results confirm that the system improves detection rates of covert threats, ensures authentication latency under 10 ms, and reduces re-entry success to zero. The proposed architecture ensures long-term scalability and resilience, making it applicable to critical domains such as finance, national infrastructure, and military communication. This work contributes a novel, verifiable, and scalable solution to one of the most pressing open problems in distributed quantum networks.

Keywords: QKD, superposition, decentralization, blockchain, authentication, cybersecurity, trust-scoring, sybil-resistance, insider, replay.

References

1. Begimbayeva, Y., Ussatova, O., Zhaxalykov, T., Akhtanov, A., Pashkevich, R., Arshidinova, M. (2024). Development of superposition-based quantum key distribution protocol in decentralized full mesh networks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (9 (132)), 39–46. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.318588>
2. Begimbayeva, Y., Zhaxalykov, T., Makarov, M. V., Ussatova, O. (2024). Hybrid QKD Approach for Multi-User Quantum Networks: Practical Concept. 2024 20th International Asian School-Seminar on Optimization Problems of Complex Systems (OPCS), 44–48. <https://doi.org/10.1109/opcs63516.2024.10720438>
3. Akhtar, N., Gilbert, A. (2024). Quantum-Enhanced Cryptography: Safeguarding Blockchain and IoT Ecosystems. *ResearchGate*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23987.54567>
4. Nwaga, P., Idima, S. (2025). Post-Quantum Cryptographic Algorithms for Secure Communication in Decentralized Blockchain and Cloud Infrastructure. *International Journal of Computer Applications Technology and Research*. <https://doi.org/10.7753/ijcatr1104.1008>
5. Mohammed, A. (2024). Cyber Security Implications of Quantum Computing: Shor's Algorithm and Beyond. *Innovative Computer Science Journal*, 11 (1), 1–23. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.14759704>
6. Harinath, D., Bandi, M., Patil, A., Murthy, R. (2024). Enhanced Data Security and Privacy in IoT Devices Using Blockchain Technology and Quantum Cryptography. *Journal of Systems Engineering and Electronics*, 34 (6), 61–67. Available at: https://www.researchgate.net/publication/387495645_Enhanced_Data_Security_and_Privacy_in_IoT_devices_using_Blockchain_Technology_and_Quantum_Cryptography
7. Ma, X., Wang, C., Li, Z., Zhu, H. (2021). Multi-Party Quantum Key Distribution Protocol with New Bell States Encoding Mode. *International Journal of Theoretical Physics*, 60 (4), 1328–1338. <https://doi.org/10.1007/s10773-021-04758-4>
8. Ahmed, S., Roseth, T. (2025). Quantum Computing and Blockchain Synergy: A New Paradigm for Information Security. *ResearchGate*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23987.54567>
9. Wu, F., Zhou, B., Song, J., Xie, L. (2025). Quantum-resistant blockchain and performance analysis. *The Journal of Supercomputing*, 81 (3). <https://doi.org/10.1007/s11227-025-07018-y>
10. Radanliev, P. (2024). Artificial intelligence and quantum cryptography. *Journal of Analytical Science and Technology*, 15 (1). <https://doi.org/10.1186/s40543-024-00416-6>
11. Ustimenko, V., Pustovit, O. (2025). On the Postquantum Protocol-Based Short Digital Signatures with Multivariate Maps Over Arithmetical Rings. *Advances in Information and Communication*. Cham: Springer, 688–699. https://doi.org/10.1007/978-3-031-84460-7_44
12. Mangla, C., Rani, S., Atiglah, H. K. (2022). Secure Data Transmission Using Quantum Cryptography in Fog Computing. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2022, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2022/3426811>
13. Alshowkan, M., Evans, P. G., Starke, M., Earl, D., Peters, N. A. (2022). Authentication of smart grid communications using quantum key distribution. *Scientific Reports*, 12 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-16090-w>
14. Popa, A.-B. (2024). Advancements in Quantum Communications: Security, Utility, Performance, and Adoption. [PhD Thesis Summary, National University of Science and Technology POLITEHNICA Bucharest]. Available at: https://docs.upb.ro/wp-content/uploads/2024/12/popa_alin_rezumat.pdf
15. Yuan, Q., Yuan, H., Zhou, M., Wen, J., Li, J., Hao, B. (2025). A improved group quantum key distribution protocol with multi-party collaboration. *Scientific Reports*, 15 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-84244-z>
16. Xiong, J., Shen, L., Liu, Y., Fang, X. (2025). Enhancing IoT security in smart grids with quantum-resistant hybrid encryption. *Scientific Reports*, 15 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-84427-8>
17. da Silva, R. F. (2024). A blockchain architecture with quantum key distribution (QKD). *International Journal of Blockchains and Cryptocurrencies*, 5 (3), 161–170. <https://doi.org/10.1504/ijbc.2024.143407>
18. Jarry, H., Olaoye, G., Frank, E., Brightwood, S., Olusegun, J. (2024). Practical Implementation of Quantum Cryptography in Network Security. *ResearchGate*. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/384884900>
19. Asha, H. P., Jingle, I. D. J. (2025). Secure Communication in Fog Nodes through Quantum Key Distribution. *Advanced Network Technologies and Intelligent Computing*. Springer, 32–46. https://doi.org/10.1007/978-3-031-83783-8_2
20. Smailov, N., Akmardin, S., Ayapbergenova, A., Ayapbergenova, G., Kadyrova, R., Sabibolda, A. (2025). Analiza wydajności VLC w optycznych systemach komunikacji bezprzewodowej do zastosowań wewnętrznych. *Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska*, 15 (2), 135–138. <https://doi.org/10.35784/iapgos.6971>
21. Smailov, N., Orynbet, M., Nazarova, A., Torekhan, Z., Koshkinbayev, S., Yssyraiyl, K. et al. (2025). Optymalizacja pracy światłowodowych czujników w warunkach kosmicznych. *Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska*, 15 (2), 130–134. <https://doi.org/10.35784/iapgos.7200>
22. Kapalova, N., Algazy, K., Haumen, A., Sakan, K. (2023). Statistical analysis of the key scheduling of the new lightweight block cipher. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 13 (6), 6817–6826. <https://doi.org/10.11591/ijece.v13i6.pp6817-6826>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.337999

DEVELOPMENT OF A LITERACY ENHANCEMENT SYSTEM BASED ON IOT AND WEB TECHNOLOGIES: INTEGRATION OF ESP8266 AND LARAVEL (p. 51–60)

Zhandos Dosbayev

Institute of Mechanics and Engineering named after Academician
U. A. Dzholdasbekova, Almaty, Republic of Kazakhstan
Kazakh National Research Technical University named after
K. I. Satbayev, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1673-4036>

Amandyk Tuleshov

Institute of Mechanics and Engineering named after Academician
U. A. Dzholdasbekova, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9775-3049>

Arshidin Osmanov

al-Farabi Kazakh National University, Almaty,
Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1062-6123>

Bibigul Sadykova

Kazakh National Research Technical University named after K. I.
Satbayev, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0383-4962>

Nurzhigit Smailov

Institute of Mechanics and Engineering named after Academician U.
A. Dzholdasbekova, Almaty, Republic of Kazakhstan
Kazakh National Research Technical University named after
K. I. Satbayev, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7264-2390>

Akezhan Sabibolda

Institute of Mechanics and Engineering named after Academician
U. A. Dzholdasbekova, Almaty, Republic of Kazakhstan
Almaty Academy of Ministry of Internal Affairs, Almaty,
Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1186-7940>

The object of research is the application of multimedia technologies to support literacy learning in the Kazakh language through interactive tools based on the integration of IoT and Web technologies. The problem addressed is the lack of effective, interactive tools for learning correct spelling and pronunciation in the Kazakh language adaptable to different user roles and levels. This study focuses on the development of a multimedia, interactive educational system aimed at enhancing literacy and promoting active language acquisition. To design aimed system in hardware side an ESP8266 microcontroller was used. 74HC165 shift registers, pull-up resistors are also installed on each button to ensure signal stability. A server side software solution built on the Laravel framework. Communication between the microcontroller and the server is established using the WebSocket protocol, a secure connection between the hardware device and the server is provided through the MAC address. The server runs in a Docker container using the Nginx and supports user roles such administrator, teacher, and student. The results obtained include a working prototype of learning system that allows users to complete tasks in five interactive modes. The results show that the integration of real-time hardware input with a flexible server-side architecture improves user engagement and learning personalization. The features of the solution are its real-time two-way communication via WebSocket, role-based access, modular design in Docker, and support for Kazakh language content. The solution is intended at supporting educational institutions, kindergartens, and remote learning environ-

ments for learning letters and words, advancing digital education practices, and improving adaptable methods and technologies for the development of IoT based educational tools.

Keywords: interactive system, multimedia, ESP8266, WebSocket, Laravel framework, IoT, language learning.

References

1. Bruneo, D., Distefano, S., Giacobbe, M., Longo Minnolo, A., Longo, F., Merlino, G. et al. (2019). An IoT service ecosystem for Smart Cities: The #SmartME project. *Internet of Things*, 5, 12–33. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2018.11.004>
2. AlHammadi, A., AlZaabi, A., AlMarzooqi, B., AlNeyadi, S., AlHashmi, Z., Shatnawi, M. (2019). Survey of IoT-Based Smart Home Approaches. 2019 *Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)*. <https://doi.org/10.1109/icaset.2019.8714572>
3. Dosbayev, Z., Abdrakhmanov, R., Akhmetova, O., Nurtas, M., Iztayev, Z., Zhaidakbaeva, L., Shaimerdenova, L. (2021). Audio Surveillance: Detection of Audio-Based Emergency Situations. *Advances in Computational Collective Intelligence*. Cham: Springer International Publishing, 413–424. https://doi.org/10.1007/978-3-030-88113-9_33
4. Perry, L. (2018). *Internet of Things for Architects*. Packt Publishing, 524.
5. Felicia, A., Wong, W. K., Loh, W. N., Juwono, F. H. (2021). Increasing Role of IoT in Education Sector: A Review of Internet of Educational Things (IoEDT). 2021 *International Conference on Green Energy, Computing and Sustainable Technology (GECOST)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/gecost52368.2021.9538781>
6. Mircea, M., Stoica, M., Ghilic-Micu, B. (2021). Investigating the Impact of the Internet of Things in Higher Education Environment. *IEEE Access*, 9, 33396–33409. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3060964>
7. Badshah, A., Ghani, A., Daud, A., Jalal, A., Bilal, M., Crowcroft, J. (2023). Towards Smart Education through Internet of Things: A Survey. *ACM Computing Surveys*, 56 (2), 1–33. <https://doi.org/10.1145/3610401>
8. Zeeshan, K., Hämäläinen, T., Neittaanmäki, P. (2022). Internet of Things for Sustainable Smart Education: An Overview. *Sustainability*, 14 (7), 4293. <https://doi.org/10.3390/su14074293>
9. Hercog, D., Lerher, T., Truntič, M., Težak, O. (2023). Design and Implementation of ESP32-Based IoT Devices. *Sensors*, 23 (15), 6739. <https://doi.org/10.3390/s23156739>
10. Xie, J., Yang, Y. (2021). IoT-based model for intelligent innovation practice system in higher education institutions. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 40 (2), 2861–2870. <https://doi.org/10.3233/jifs-189326>
11. Zhou, X., Li, X., Su, N. (2021). Design and Internet of Things Development of Network Teaching Resource Base System for Educational Technology. *Journal of Physics: Conference Series*, 1769 (1), 012005. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1769/1/012005>
12. Jacko, P., Bereš, M., Kováčová, I., Molnár, J., Vince, T., Dziak, J. et al. (2022). Remote IoT Education Laboratory for Microcontrollers Based on the STM32 Chips. *Sensors*, 22 (4), 1440. <https://doi.org/10.3390/s22041440>
13. Smailov, N., Uralova, F., Kadyrova, R., Magazov, R., Sabibolda, A. (2025). Optymalizacja metod uczenia maszynowego do deanonimizacji w sieciach społecznościowych. *Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska*, 15 (1), 101–104. <https://doi.org/10.35784/iapgos.7098>

14. Domínguez-Bolaño, T., Campos, O., Barral, V., Escudero, C. J., García-Naya, J. A. (2022). An overview of IoT architectures, technologies, and existing open-source projects. *Internet of Things*, 20, 100626. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2022.100626>
15. Gerasimova, Y., Ivel, V., Moldakhmetov, S., Petrov, P. (2024). Hardware-software implementation of a local Wi-Fi network for the transmission of biomedical signals. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (130)), 34–43. LOCKSS. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.309387>
16. Narender, K., Kareem, D. S., Ali Nasir, Z., Prasad, P. H., Sai Charan, T., Naveed, A. (2024). ESP8266-based Industrial Appliances Control System by Blynk Software via WIFI Module. 2024 International Conference on Augmented Reality, Intelligent Systems, and Industrial Automation (ARIIA), 1–7. <https://doi.org/10.1109/ariia63345.2024.11051837>
17. Mesquita, J., Guimaraes, D., Pereira, C., Santos, F., Almeida, L. (2018). Assessing the ESP8266 WiFi module for the Internet of Things. 2018 IEEE 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), 784–791. <https://doi.org/10.1109/etfa.2018.8502562>
18. Santos, L., Costa, T., Caldeira, J. M. L. P., Soares, V. N. G. J. (2022). Performance Assessment of ESP8266 Wireless Mesh Networks. *Information*, 13 (5), 210. <https://doi.org/10.3390/info13050210>
19. Gay, W. (2017). More Pi Outputs with 74HC595. Custom Raspberry Pi Interfaces: Design and build hardware interfaces for the Raspberry Pi. Berkeley: Apress, 141–152. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-2406-9_10
20. Roussos, G., Nikipolitis, P. (2024). A Project Overview: The Implementation of a Native Android App for Mobile Signal Detection and a PHP Laravel Web-Based Platform for Real-Time Monitoring and Analysis of Wireless Communication Networks for Educational Purposes. *Smart Mobile Communication & Artificial Intelligence*. Cham: Springer Nature, 114–125. https://doi.org/10.1007/978-3-031-56075-0_11
21. Selvaraj, S. (2023). Real-Time Applications with Laravel. Building Real-Time Marvels with Laravel. Apress, 167–197. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-9789-6_8
22. Jain, D. (2024). Ultimate Laravel for Modern Web Development: Build Robust and Interactive Enterprise-Grade Web Apps using Laravel's MVC, Authentication, APIs, and Cloud Deployment. Orange Education Pvt Ltd.
23. Stauffer, M. (2019). Laravel: Up & running: A framework for building modern php apps. O'Reilly Media, Inc.
24. Sierra, E., Yuhana, U. L. (2023). Optimizing Software Development through Data Access Speed using Object-Relational Mapping (ORM) on Credit Risk Application. 2023 3rd International Conference on Smart Cities, Automation & Intelligent Computing Systems (ICON-SONICS), 201–206. <https://doi.org/10.1109/icon-sonics59898.2023.10435255>
25. Chen, B., Jiang, Z. M., Matos, P., Lacaria, M. (2019). An Industrial Experience Report on Performance-Aware Refactoring on a Database-Centric Web Application. 2019 34th IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering (ASE). <https://doi.org/10.1109/ase.2019.00066>
26. Nichter, D. (2021). Efficient MySQL Performance. O'Reilly Media, Inc.
27. Eko, C. E., Eteng, I. E., Essien, E. E. (2022). Design and implementation of a fault tolerant web-based examination system for developing countries. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (2 (115)), 58–67. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253146>
28. Diduk, V., Hrytsenko, V., Yeromenko, A. (2020). Building a model of network interaction between the components of a multi-agent system of mobile robots. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (107)), 57–63. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.213989>
29. Zhou, X., Liu, G.-P., Hu, W., Lei, Z. (2024). Design and Implementation of a Mobile Experimental Application for Networked Control Systems. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 20 (1), 744–753. <https://doi.org/10.1109/tii.2023.3271435>
30. Schenker, G. N. (2023). The ultimate Docker container book: build, test, ship, and run containers with Docker and Kubernetes. Packt Publishing Ltd, 626.
31. Ablyayev, M., Abliakimova, A., Seidametova, Z. (2020). Developing a Mobile Augmented Reality Application for Enhancing Early Literacy Skills. *Information and Communication Technologies in Education, Research, and Industrial Applications*. Cham: Springer International Publishing, 163–185. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39459-2_8
32. Özbek, A. B., Torppa, M. (2025). Developing an early literacy mobile app: design process and testing the app with children with special needs. *Education and Information Technologies*. <https://doi.org/10.1007/s10639-025-13599-1>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.337170

DEVISING A SEGMENTATION METHOD FOR OPTOELECTRONIC IMAGERY FROM UNMANNED AERIAL VEHICLES BASED ON THE ARTIFICIAL BEE COLONY ALGORITHM (p. 61–69)

Hennadii Khudov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine

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

Vladyslav Khudov

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

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

Oleksandr Makoveichuk

Higher Education Institution “Academician Yuriy Bugay International Scientific and Technical University”, Kyiv, Ukraine

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

Serhii Yarosh

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5208-9372>

Irina Khizhnyak

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3431-7631>

Valerii Varvarov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1273-5605>

Ihor Butko

Higher Education Institution “Academician Yuriy Bugay International Scientific and Technical University”, Kyiv, Ukraine

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

Rostyslav Khudov

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

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

Yurii Sheviakov

Civil Aviation Institute, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5322-6674>

Artem Irkha

Defence Intelligence Research Institute, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9509-8930>

This paper considers the process of segmenting an optoelectronic image acquired from an unmanned aerial vehicle based on the artificial bee colony algorithm. The principal hypothesis of this study assumes that the use of the artificial bee colony algorithm for segmenting an optoelectronic image acquired from an unmanned aerial vehicle could reduce segmentation errors of the first and second kinds.

A method for segmenting an optoelectronic image acquired from an unmanned aerial vehicle based on the artificial bee colony algorithm has been improved, which, unlike known ones, involves the following:

- initialization of the population of scout bees;
- calculation of the objective function;
- determining the best and promising positions;
- calculation of the optimal value of the segmentation threshold;
- image division into segments;
- checking the stopping criterion;
- bee migration;
- acquisition of a segmented image.

Experimental studies have been conducted on the segmentation of an optoelectronic image acquired from an unmanned aerial vehicle using a method based on the artificial bee colony algorithm. The visual quality of the segmented image makes it possible to conclude that segmentation using the artificial bee colony method is possible. Comparative analysis of segmented images (improved and known methods) indicates a clearer separation of the object of interest (car) using the method based on the artificial bee colony algorithm. The results of calculating segmentation errors of the first and second kind indicate a reduction in segmentation errors of the first kind by 9% and errors of the second kind by 7% when segmenting an optoelectronic image using the method based on the artificial bee colony algorithm.

Keywords: segmentation, optoelectronic imagery, artificial bee colony algorithm, unmanned aerial vehicle.

References

1. Sharad, W. (2021). The development of the earth remote sensing from satellite. *Mechanics Of Gyroscopic Systems*, 40, 46–54. <https://doi.org/10.20535/0203-3771402020248768>
2. Air & Space Operations Review (2025). A Journal of Strategic Air power & Spacepower, 4 (1) Available at: <https://www.airuniversity.af.edu/ASOR/>
3. Lawali Rabi, Anuar Ahmad, Adel Gohari. (2024). Advancements of Unmanned Aerial Vehicle Technology in the Realm of Applied Sciences and Engineering: A Review. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, 40 (2), 74–95. <https://doi.org/10.37934/araset.40.2.7495>
4. Khudov, H., Makoveichuk, O., Komarov, V., Khudov, V., Khizhnyak, I., Bashynskyi, V. et al. (2023). Determination of the number of clusters on images from space optic-electronic observation systems using the k-means algorithm. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (9 (123)), 60–69. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.282374>
5. Srinivas, Ch. V. V. S., Prasad, M. V. R. V., Sirisha, M. (2019). Remote Sensing Image Segmentation using OTSU Algorithm. *International Journal of Computer Applications*, 178 (12), 46–50. <https://doi.org/10.5120/ijca2019918885>
6. Wu, Y., Li, Q. (2022). The Algorithm of Watershed Color Image Segmentation Based on Morphological Gradient. *Sensors*, 22 (21), 8202. <https://doi.org/10.3390/s22218202>
7. Khudov, H., Khudov, R., Khizhnyak, I., Hridasov, I., Hlushchenko, P. (2025). The small aerial objects segmentation method on optical-electronic images based on the sobel edge detector. *Advanced Information Systems*, 9 (2), 5–10. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2025.2.01>
8. Khan, B. A., Jung, J.-W. (2024). Semantic Segmentation of Aerial Imagery Using U-Net with Self-Attention and Separable Convolutions. *Applied Sciences*, 14 (9), 3712. <https://doi.org/10.3390/app14093712>
9. Ronneberger, O., Fischer, P., Brox, T. (2015). U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015*, 234–241. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4_28
10. Chen, L.-C., Zhu, Y., Papandreou, G., Schroff, F., Adam, H. (2018). Encoder-Decoder with Atrous Separable Convolution for Semantic Image Segmentation. *Computer Vision – ECCV 2018*, 833–851. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01234-2_49
11. Akylidiz, B., Ozcan, C., Karas, İ. R. (2024). Graph Cuts in Image Segmentation: A Review. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Information Technologies and Their Applications (ITTA 2024)*. Baku.
12. Karaboga, D., Gorkemli, B., Ozturk, C., Karaboga, N. (2012). A comprehensive survey: artificial bee colony (ABC) algorithm and applications. *Artificial Intelligence Review*, 42 (1), 21–57. <https://doi.org/10.1007/s10462-012-9328-0>
13. Bezkoshtovni resursy BPLA. Available at: <https://portalgis.pro/bpla/bezkoshtovni-resursy-bpla/>
14. Khudov, H., Khudov, V., Makoveichuk, O., Khizhnyak, I., Hridasov, I., Butko, I. et al. (2025). Development of an image segmentation method from unmanned aerial vehicles based on the particle swarm optimization algorithm. *Technology Audit and Production Reserves*, 3 (2 (83)), 88–95. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.330973>
15. Sha, C., Hou, J., Cui, H. (2016). A robust 2D Otsu's thresholding method in image segmentation. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 41, 339–351. <https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2016.10.013>
16. Cao, Q., Qingge, L., Yang, P. (2021). [Retracted] Performance Analysis of Otsu-Based Thresholding Algorithms: A Comparative Study. *Journal of Sensors*, 2021 (1). <https://doi.org/10.1155/2021/4896853>
17. Otsu, N. (1979). A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 9 (1), 62–66. <https://doi.org/10.1109/tsmc.1979.4310076>
18. Khudov, H., Kalimulin, T., Khudov, R., Butko, I., Burtseva, V., Burtsev, V. (2023). Improved Method of Segmentation of Images From Space-Based Optoelectronic Observation Systems Based on Otsu's Algorithm with Global and Adaptive Thresholds. *2023 IEEE 4th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/khpiweek61412.2023.10312918>
19. Zhang, G., Lu, X., Tan, J., Li, J., Zhang, Z., Li, Q., Hu, X. (2021). RefineMask: Towards High-Quality Instance Segmentation with Fine-Grained Features. *2021 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 6857–6865. <https://doi.org/10.1109/cvpr46437.2021.00679>
20. Khudov, H., Hridasov, I., Khizhnyak, I., Yuzova, I., Solomonenko, Y. (2024). Segmentation of image from a first-person-view unmanned aerial vehicle based on a simple ant algorithm. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (130)), 44–55. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.310372>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.337033

DESIGN AND EVALUATION OF AN INTELLIGENT WASTE MONITORING SYSTEM BASED ON RGIS INTEGRATION FOR SMART CITIES (p. 70–78)

Symbat Nurgaliyeva

Astana IT University, EXPO Business Center, Block C1, Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5880-6166>**Amangali Muratali**

Astana IT University, EXPO Business Center, Block C1, Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-6946-7100>**Zhuldyz Basheyeva**

Astana IT University, EXPO Business Center, Block C1, Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9605-2101>**Nurzhamal Kashkimbayeva**

Astana IT University, EXPO Business Center, Block C1, Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6070-876X>**Daniyar Amantayev**

Astana IT University, EXPO Business Center, Block C1, Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-7622-9188>

The object of this study is the municipal solid waste management system within a modern urban environment, where rapid urbanization and population growth pose significant challenges to ecological sustainability. The key problem addressed is the inefficiency of waste collection due to overflowing containers, poor route planning, and suboptimal resource allocation. To tackle these issues, an intelligent waste monitoring system has been developed that integrates Internet of Things (IoT) technologies, computer vision, data analytics, and a Regional Geographic Information System (RGIS). The system includes a computer vision model that analyzes images of waste containers to determine their fill level. Fine-tuning the model on locally collected image data, reflecting regional characteristics such as lighting, container types, and weather conditions, significantly improved detection accuracy and adaptability. Route optimization for waste collection is implemented using a mathematical formulation of the Traveling Salesman Problem (TSP), solved via Mixed Integer Linear Programming (MILP), which helped reduce fuel consumption, travel time, and staff workload. Integration with RGIS and GPS enables dynamic routing and real-time geospatial visualization of operational data. The proposed system forms a closed-loop control cycle that links automated detection, spatial analysis, and decision-making. Experimental results demonstrate high efficiency, adaptability to regional conditions, and scalability, confirming the system's practical applicability to other urban areas. In the future, the system may be expanded to include environmental monitoring modules such as air quality, noise, and soil conditions and predictive modeling of waste generation, thereby supporting the sustainable development of smart city infrastructure.

Keywords: monitoring system, waste management, geographic information system, routing, container, detection.

References

1. Kaza, S., Yao, L. C., Bhada-Tata, P., Van Woerden, F. (2018). What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Washington, DC: World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>
2. Thousands of tons of waste removed in Astana: How offenders are tracked (2025). Available at: https://tengrinews.kz/kazakhstan_news/astane-vyivozyat-tyisyachi-tonn-musora-lovyat-teh-ego-567746/
3. Soni, G., Kandasamy, S. (2017). Smart Garbage Bin Systems – A Comprehensive Survey. Smart Secure Systems – IoT and Analytics Perspective, 194–206. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7635-0_15
4. Skol'ko v Kazakhstane potratili na sbor i pererabotku musora [How much was spent on waste collection and recycling in Kazakhstan] (2018). LSM.kz. Available at: <https://lsm.kz/skol-ko-v-kazakhstane-potratili-na-sbor-i-pererabotku-musora>
5. Aatamila, M., Verkasalo, P. K., Korhonen, M. J., Viluksela, M. K., Pasanen, K., Tiittanen, P., Nevalainen, A. (2010). Odor Annoyance near Waste Treatment Centers: A Population-Based Study in Finland. Journal of the Air & Waste Management Association, 60 (4), 412–418. <https://doi.org/10.3155/1047-3289.60.4.412>
6. Smailov, N., Tsymporenko, V., Sabibolda, A., Tsymporenko, V., Abdykadyrov, A., Kabdoldina, A. et al. (2024). Usprawnienie cyfrowego korelacyjno-interferometrycznego ustalenia kierunku za pomocą przestrzennego sygnału analitycznego. Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska, 14 (3), 43–48. <https://doi.org/10.35784/iapgos.6177>
7. Agnew, C., Mewada, D., Grua, E. M., Eising, C., Denny, P., Hefferman, M. et al. (2023). Detecting the overfilled status of domestic and commercial bins using computer vision. Intelligent Systems with Applications, 18, 200229. <https://doi.org/10.1016/j.iswa.2023.200229>
8. Department of Digital Technologies of Aktobe. Regional Geoinformation System of Aktobe. Available at: <https://eaqtobe.kz/#/>
9. Roboflow. Garbage and trashes model (v4). Roboflow Universe. Available at: <https://universe.roboflow.com/trash-and-garbage/garbage-and-trashes/model/4>
10. Ren, Y., Li, Y., Gao, X. (2024). An MRS-YOLO Model for High-Precision Waste Detection and Classification. Sensors, 24 (13), 4339. <https://doi.org/10.3390/s24134339>
11. Lun, Z., Pan, Y., Wang, S., Abbas, Z., Islam, M. S., Yin, S. (2023). Skip-YOLO: Domestic Garbage Detection Using Deep Learning Method in Complex Multi-scenes. International Journal of Computational Intelligence Systems, 16 (1). <https://doi.org/10.1007/s44196-023-00314-6>
12. Serik, M., Nurgaliyeva, S. (2024). Enhancing competence in mobile robot development: Integrating robotic technologies for future computer science teachers. Global Journal of Engineering Education, 26 (3), 205–211. Available at: <https://www.wiete.com.au/journals/GJEE/Publish/vol26no3/11-Nurgaliyeva-S.pdf>
13. Smailov, N., Batyrgaliyev, A., Akhmediyarova, A., Seilova, N., Koshkinbayeva, M., Baigulbayeva, M. et al. (2020). Approaches to Evaluating the Quality of Masking Noise Interference. International Journal of Electronics and Telecommunications, 67 (1), 59–64. <https://doi.org/10.24425/ijet.2021.135944>
14. Khan, S., Ali, B., Alharbi, A. A. K., Alotaibi, S., Alkhatami, M. (2024). Efficient IoT-Assisted Waste Collection for Urban Smart Cities. Sensors, 24 (10), 3167. <https://doi.org/10.3390/s24103167>
15. Smailov, N., Zhadiger, T., Tashtay, Y., Abdykadyrov, A., Amir, A. (2024). Fiber laser-based two-wavelength sensors for detecting temperature and strain on concrete structures. International Journal of Innovative Research and Scientific Studies, 7 (4), 1693–1710. <https://doi.org/10.53894/ijirss.v7i4.3481>

16. Momynkulov, Z., Dosbayev, Z., Suliman, A., Abduraimova, B., Smailov, N., Zhekambayeva, M., Zhamangarin, D. (2023). Fast Detection and Classification of Dangerous Urban Sounds Using Deep Learning. *Computers, Materials & Continua*, 75 (1), 2191–2208. <https://doi.org/10.32604/cmc.2023.036205>
17. Kisała, P., Wójcik, W., Smailov, N., Kalizhanova, A., Harasim, D. (2015). Elongation determination using finite element and boundary element method. *International Journal of Electronics and Telecommunications*, 61 (4), 389–394. <https://doi.org/10.2478/eletel-2015-0051>
18. Gupta, S. K., & Bhatia, R. K. (2017). Route Optimization of Municipal Solid Waste Collection in Jabalpur City using ARC GIS. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, 2 (1), 457–464. <https://doi.org/10.31142/ijtsrd7000>
19. Smailov, N., Orynbt, M., Nazarova, A., Torekhan, Z., Koshkinbayev, S., Yssyraiyl, K. et al. (2025). Optymalizacja pracy światłowodowych czujników w warunkach kosmicznych. *Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska*, 15 (2), 130–134. <https://doi.org/10.35784/iapgos.7200>
20. Kengesbayeva, S., Smailov, N., Tashtay, Y., Kiesewetter, D., Mal-yugin, V., Amir, A. (2024). Research of Deformation of Concrete Structures Using Fiber Optic Sensors and Bragg Gratings. 2024 International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EExPolytech), 15–18. <https://doi.org/10.1109/eexpolytech62224.2024.10755828>
21. Sekenov, B., Smailov, N., Tashtay, Y., Amir, A., Kuttybayeva, A., Tol-emanova, A. (2024). Fiber-Optic Temperature Sensors for Monitoring the Influence of the Space Environment on Nanosatellites: A Review. *Advances in Asian Mechanism and Machine Science*, 371–380. https://doi.org/10.1007/978-3-031-67569-0_42
22. Smailov, N., Akmardin, S., Ayapbergenova, A., Ayapbergenova, G., Kadyrova, R., Sabibolda, A. (2025). Analiza wydajności VLC w optycznych systemach komunikacji bezprzewodowej do zastosowań wewnętrznych. *Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska*, 15 (2), 135–138. <https://doi.org/10.35784/iapgos.6971>
23. Wójcik, W., Kalizhanova, A., Kulyk, Y., Knysh, B., Kyetnyy, R., Kulyk, A. et al. (2022). The Method of Time Distribution for Environment Monitoring Using Unmanned Aerial Vehicles According to an Inverse Priority. *Journal of Ecological Engineering*, 23 (11), 179–187. <https://doi.org/10.12911/22998993/153458>
24. Sabibolda, A., Tsyorenko, V., Tsyorenko, V., Smailov, N., Zhunussov, K., Abdykadyrov, A. et al. (2022). Improving the accuracy and performance speed of the digital spectral-correlation method for measuring delay in radio signals and direction finding. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (9 (115)), 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252561>
25. Mikhailov, P., Ualiyev, Z., Kabdoldina, A., Smailov, N., Khikmetov, A., Malikova, F. (2021). Multifunctional fiber-optic sensors for space infrastructure. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (5 (113)), 80–89. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.242995>
26. Smailov, N., Uralova, F., Kadyrova, R., Magazov, R., Sabibolda, A. (2025). Optymalizacja metod uczenia maszynowego do deanonimizacji w sieciach społecznościowych. *Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska*, 15 (1), 101–104. <https://doi.org/10.35784/iapgos.7098>

DOI 10.15587/1729-4061.2025.335570

DEVELOPMENT OF AN IMAGE QUALITY ENHANCEMENT APPROACH FOR DIABETIC RETINOPATHY DIAGNOSIS (p. 79–88)

Saya Sapakova

International IT University, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6541-6806>

Nurmaganbet Yesmukhamedov

International IT University, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0652-3082>

Askar Sapakov

ALT University, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5708-7862>

The object of the study is the accuracy of diabetic retinopathy diagnosis based on retinal images. This study investigates convolutional neural network (CNN) models for the automatic detection of diabetic retinopathy (DR) from retinal images. The main problem lies in the insufficient effectiveness of basic CNN models in recognizing DR stages on fundus images. The core problem addressed is the suboptimal performance of baseline CNNs in identifying DR stages from medical imagery. To solve this, two CNN architectures were thoroughly evaluated: a baseline model and an enhanced model integrating advanced preprocessing techniques such as image resizing (256×256 and 512×512), the image normalization, and data augmentation methods. The enhanced model outperformed the original, achieving a validation accuracy of 91% compared to 88% for the baseline, and demonstrating reduced loss during both training and validation. This improvement is attributed to the optimized input image quality and increased variability in the training set, which enhanced the model's ability to generalize and avoid overfitting. A distinctive feature of the results lies in the synergy between preprocessing and CNN architecture, which enabled significantly improved classification performance even under hardware constraints. These limitations suggest that further gains are possible with extended computational resources and access to larger datasets. The practical applicability of the findings is evident in the potential deployment of such models in clinical screening systems to support early and accurate DR diagnosis. The models were trained on a proprietary dataset of expert-labeled, high-resolution retinal images, similar in format to EyePACS and APTOS, though not publicly available due to ethical considerations.

Keywords: diabetic retinopathy, fundus images, image preprocessing, contrast enhancement, data augmentation.

References

1. Şahin, M. A., Beyca, Ö. F. (2024). Diabetic Retinopathy Diagnosis with Image Processing. 2024 32nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 1–4. <https://doi.org/10.1109/siu61531.2024.10601116>
2. Demin, N. S., Ilyasova, N. Yu., Paringer, R. A. (2023). Automatic Selection of the Optimal Zone for Laser Exposure According to the Fundus Images for Laser Coagulation. *Journal of Biomedical Photonics & Engineering*, 9 (4), 040308. <https://doi.org/10.18287/jbpe23.09.040308>
3. Cisek, A., Korycinska, K., Pyziak, L., Malicka, M., Wiecek, T., Gruzel, G. et al. (2023). Algorithm-based diagnostic application for diabetic retinopathy detection. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2312.00529>

4. Saut Parulian, O., Na'am, J. (2024). Advanced Filtering and Enhancement Techniques for Diabetic Retinopathy Image Analysis. *Journal Medical Informatics Technology*, 69–75. <https://doi.org/10.37034/medinftech.v2i3.40>
5. Mohd Sharif, N. A., Harun, N. H., Yusof, Y. (2024). Image enhancement optimization on bright and dark spots of retinal fundus image. *International Journal of Advances in Applied Sciences*, 13 (3), 539. <https://doi.org/10.11591/ijaas.v13.i3.pp539-545>
6. Fayyad, M. F., Mustakim. (2024). Application of AlexNet, EfficientNetV2B0, and VGG19 with Explainable AI for Cataract and Glaucoma Image Classification. 2024 International Electronics Symposium (IES), 406–412. <https://doi.org/10.1109/ies63037.2024.10665856>
7. Suresh, G. V., Sri, G. P. N. P., Angidi, K. S., Dheeraj, T. S., Snehiha, G. N. V. (2024). Automated Denoising of Diabetic Retinopathy Images for Enhanced Medical Diagnosis. 2024 3rd International Conference on Applied Artificial Intelligence and Computing (ICAAIC), 1234–1240. <https://doi.org/10.1109/icaaic60222.2024.10574928>
8. Mohd Sharif, N. A., Harun, N. H., Yusof, Y. (2024). Colour Image Enhancement Model of Retinal Fundus Image for Diabetic Retinopathy Recognition. *Journal of Information and Communication Technology*, 23 (2), 293–334. <https://doi.org/10.32890/jict2024.23.2.5>
9. Toresa, D., Wiza, F., Anggraini, K., Taslim, T., Edriyansyah, Lisawita, L. (2023). Comparison of Image Enhancement Methods for Diabetic Retinopathy Screening. *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem Dan Teknologi Informasi)*, 7 (5), 1111–1117. <https://doi.org/10.29207/resti.v7i5.5193>
10. Vishwanath, C. S., Divya, K. L., Vamsika, A., Murali, B. S., Dinesh, B. (2024). Diabetic Retinopathy Classification by Enhanced Image Filtration Techniques Using Deep Learning. 2024 OPJU International Technology Conference (OTCON) on Smart Computing for Innovation and Advancement in Industry 4.0, 1–7. <https://doi.org/10.1109/otcon60325.2024.10687473>
11. Kao, Y.-H., Lin, C.-L. (2024). Enhancing Diabetic Retinopathy Detection Using Pixel Color Amplification and EfficientNetV2: A Novel Approach for Early Disease Identification. *Electronics*, 13 (11), 2070. <https://doi.org/10.3390/electronics13112070>
12. Surmayanti, Sumijan, Bukhori, S. (2024). Identification of Diabetic Retinopathy Using the Extraction Method on Fundus Images. 2024 12th International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT), 333–340. <https://doi.org/10.1109/icoict61617.2024.10698276>
13. Hou, Q., Cao, P., Jia, L., Chen, L., Yang, J., Zaiane, O. R. (2023). Image Quality Assessment Guided Collaborative Learning of Image Enhancement and Classification for Diabetic Retinopathy Grading. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 27 (3), 1455–1466. <https://doi.org/10.1109/jbhi.2022.3231276>
14. Deshpande, A. (2023). Diagnosis of Diabetic Retinopathy using Fundus Images and Image Processing Methods. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 11 (5), 3596–3605. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.52296>
15. Triwijoyo, B. K., Sabarguna, B. S., Budiharto, W., Abdurachman, E. (2020). Deep learning approach for classification of eye diseases based on color fundus images. *Diabetes and Fundus OCT*, 25–57. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-817440-1.00002-4>
16. Ramya, N., Hemavathi, D. (2022). Diabetic Retinopathy Detection Through Feature Aggregated Generative Adversarial Network. 2022 1st International Conference on Computational Science and Technology (ICCST), 611–614. <https://doi.org/10.1109/iccst55948.2022.10040451>
17. Bhoopal, S., Rao, M., Krishnappa, C. H. (2024). Enhanced diabetic retinopathy detection and classification using fundus images with ResNet50 and CLAHE-GAN. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 35 (1), 366. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v35.i1.pp366-377>
18. Banupriya, V., Kalaivani, A. (2022). Improved retinal fundus image quality with hybrid image filter and enhanced contrast limited adaptive histogram equalization. *International Journal of Health Sciences*, 9234–9246. <https://doi.org/10.53730/ijhs.v6ns1.7090>
19. Bakhshi, A., Hajizadeh, K., Tanhayi, M. R., Jamshidi, R. (2022). Diabetic retinopathy diagnosis using image processing methods. *Advances in Obesity, Weight Management & Control*, 11 (5), 132–134. <https://doi.org/10.15406/aowmc.2022.12.00375>
20. Mahender, N., Padmaja, S., Shivanadhuni, R., Rao, L. G., Mohmmad, S. (2023). An Enhanced Approach for Detecting and Classifying the Diabetic Retinopathy by Utilizing an Optimized Convolutional Neural Network. 2023 International Conference on Ambient Intelligence, Knowledge Informatics and Industrial Electronics (AIKIIIE), 1–6. <https://doi.org/10.1109/aikiie60097.2023.10390105>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.335592

ВІДНОВЛЕННЯ ВТРАЧЕНИХ ДАНИХ ГЛОБАЛЬНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ВЕЛИКИХ МОВНИХ МОДЕЛЕЙ БЕЗ ПЕРЕНАВЧАННЯ (с. 6–18)

Р. І. Лечко, О. О. Боровий, К. В. Смець, Ю. В. Цимбал

Об'єктом дослідження є відновлення втрачених GPS-даних траєкторій руху. Проблема полягає у забезпеченні реконструкції геопросторових координат за відсутності великих обсягів розмічених даних і в умовах, коли традиційні просторово-часові моделі демонструють обмежену узагальнюваність. У цьому дослідженні запропоновано підхід на основі великих мовних моделей для розв'язання задачі реконструкції без необхідності попереднього навчання на спеціалізованих датасетах. З метою подолання залежності від специфіки предметної області зосереджено увагу на оптимізації попередньої обробки даних та побудові ефективних запитів. Було досліджено три варіанти представлення координат: вихідні значення в градусах (на основі датасету VPAIR), система Earth-Centered, Earth-Fixed (ECEF), ECEF-координати, зміщені відносно початкової точки траєкторії. Результати експериментів засвідчили, що використання центрованих ECEF-координат дозволяє знизити середню абсолютну помилку на 51–59% як для широти, так і довготи порівняно з іншими варіантами. Перетворення в систему ECEF також демонструє вибіркові переваги при відновленні широти. Для зменшення нестабільності авторегресивного передбачення було реалізовано підхід багаторазової ітеративної реконструкції з агрегуванням. Встановлено, що відкрита модель LLaMA 3.2 демонструє найкращу точність (MAE: 36,57 для широти і 52,14 для довготи), перевершуючи як інші відкриті моделі, так і комерційну GPT-4o. Запропонований підхід доцільно розглядати як інструмент післяобробки, зокрема в контексті місії із використанням безпілотних літальних апаратів чи інших мобільних платформ, коли частина даних була втрачена під час збору.

Ключові слова: великі мовні моделі, втрачені дані, нейронні мережі, імпуція, prompt tuning.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.335723

РОЗРОБКА ФРЕЙМВОРКУ ДЛЯ БЕЗСЕРВЕРНОЇ РОЗПОДІЛЕНОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ ЧЕРГ (с. 19–25)

О. О. Кириченко, С. Е. Остапов, О. Л. Кириченко

Об'єктом дослідження є організація розподіленої обробки даних у хмарних середовищах з використанням безсерверних обчислень. Розвиток безсерверних обчислень спричинив зміну підходів до побудови архітектури додатків, які розгортаються у хмарі. Можливість абстрагуватися від управління інфраструктурою досягаючи при цьому економічної ефективності стає надзвичайно важливою проблемою, яка потребує створення нових інструментів. Одним із таких інструментів є новий фреймворк, який дозволяє динамічно масштабувати обчислювальні ресурси в залежності від робочого навантаження, зберігати стан процесу обчислень за допомогою DynamoDB та забезпечує відстеження прогресу в режимі реального часу. Для тестування запропонованого фреймворку створено та розгорнуто безсерверний додаток для розподіленої генерації PDF документів. Емуляція реального навантаження відбувалася за допомогою Locust, на вхід додатку подавалися файли, які містили 1025132 записами. Результати експериментів показали, що додаток став працювати на 25,8% швидше, пропускна здатність зросла на 21,3%, а кількість холодних запусків зменшилася до 3% у порівнянні з класичним масштабуванням. Додатково визначено основні напрямки подальших досліджень щодо розвитку та вдосконалення розробленого фреймворку. Це дослідження представляє можливості прогностичного автоматичного масштабування з використанням моделей напівмарковських процесів у безсерверному середовищі. На відміну від традиційних реактивних підходів, запропонований підхід заздалегідь передбачає зміни та проактивно масштабує частини застосунку, що дозволяє зменшити затримки та уникнути холодних запусків. Фреймворк може бути використаний як основа для розробки безсерверних додатків для розподіленої обробки даних з використанням черг повідомлень та можливістю моніторингу процесу обробки в реальному часі.

Ключові слова: безсерверна архітектура, прогностичне автоматичне масштабування, хмарні обчислення, розподілена обробка даних.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.335729

ПІДВИЩЕННЯ ШВИДКОСТІ БІНОМІАЛЬНОГО СТИСНЕННЯ НА ОСНОВІ ДВІЙКОВИХ БІНОМІАЛЬНИХ ЧИСЕЛ (с. 26–33)

І. А. Кулик, М. С. Шевченко, В. В. Гриненко, М. О. Гермес

Об'єктом дослідження є адаптивне стиснення двійкових послідовностей загального виду на основі двійкових біноміальних чисел.

Проблема, що вирішується, – забезпечення високої швидкості стиснення двійкової інформації на основі біноміальних чисел за умови невизначеності характеристик двійкових послідовностей, що стискаються.

Одним з факторів, що знижують ефективність біноміального стиснення, є неконтрольовані переходи кількостей одиниць комбінацій до області неефективного використання, найгірших коефіцієнтів стиснення.

У зв'язку з цим в роботі застосований адаптивний підхід до біноміального стиснення, заснований на виборі способу кодування залежно від числа одиниць оброблюваної послідовності.

Даний підхід забезпечує наступний результат: у кілька разів скорочення обсягу часових витрат при обробці двійкових комбінацій, що не стискаються. Як наслідок, це призводить до збільшення середньої швидкості біноміального стиснення при невеликому, до трьох-п'яти відсотків, зниженні ступеня стиснення.

До моделі процесу адаптивного стиснення включені етапи порівняння обчислених кількостей двійкових одиниць з умовами стиснення та вибору техніки кодування на основі двійкових біноміальних чисел. Якщо поточне значення числа одиниць виходить за межі умов стиснення, то обчислення кількості одиниць припиняється, а оброблювана послідовність залишається без змін. Тим самим усуваються невірні витрати часу, коли коефіцієнт стиснення стає менше за одиницю.

На практиці адаптивний підхід до стиснення на основі двійкових біноміальних чисел є ефективним у випадку, коли двійкові послідовності, що стискаються, мають невизначені характеристики, а їх попереднє оцінювання є неможливим або ускладненим.

Ключові слова: адаптивне стиснення, біноміальні числа, вибір кодування, біноміально-векторний метод, час стиснення.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.335630

ПОКРАЩЕНЕ ВИЯВЛЕННЯ НЕЛЕГАЛЬНИХ ТРАНЗАКЦІЙ З BITCOIN ЗА ДОПОМОГОЮ ВІДБОРУ ОЗНАК НА ОСНОВІ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ (с. 34–42)

Medet Shaizat, Shynar Mussiraliyeva

Об'єктом цього дослідження є процес класифікації незаконних транзакцій Bitcoin у наборах даних блокчейну. Проблема, яку розглянуто у цій роботі, полягає у складності виявлення підозрілої активності у криптовалютних мережах через високу розмірність даних транзакцій і відсутність семантичних міток, що обмежує ефективність традиційних методів ручного створення ознак. Запропонований метод поєднує галузеві індикатори нелегальної поведінки з механізмом вибору ознак на основі ГА, який динамічно формує інформативні підмножини ознак. Розроблена система була реалізована та оцінена на наборах даних Elliptic і Elliptic++ із використанням моделі випадкового лісу. Отримані результати демонструють, що метод на основі ГА суттєво підвищує продуктивність моделі: найкраща конфігурація досягла F1-міри 84,3%, точності 99,4% і повноти 73,1%. У порівнянні з базовими підходами на тих самих наборах даних, цей метод забезпечує відносне покращення на 0,9% за F1-мірою, на 0,3% за точністю та на 1,2% за повнотою. Ефективність запропонованого рішення пояснюється його здатністю виявляти приховані закономірності у даних транзакцій без залежності від ручних евристик, а також завдяки оптимізованим параметрам ГА. Відмінною рисою цього методу є поєднання евристичного пошуку з категоріями ознак, визначених на основі предметної області, що підвищує точність класифікації та знижує складність моделі. Отримані результати можуть бути застосовані на практиці, наприклад, для форензичного аналізу криптовалютних транзакцій. Однак успішна імплементація вимагає доступу до історичних записів транзакцій і достатніх обчислювальних ресурсів для обробки великих, насичених ознаками наборів даних.

Ключові слова: bitcoin, нелегальні транзакції, машинне навчання, генетичні алгоритми, криптовалюта форензика.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.337992

ПРОЄКТУВАННЯ ПРОТОКОЛУ QKD, СТІЙКОГО ДО ВНУТРІШНІХ АТАК У ПОВНІСТЮ ПІДКЛЮЧЕНИХ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ МЕРЕЖАХ (с. 43–50)

Yenlik Begimbayeva, Temirlan Zhaxalykov, Amir Akhtanov, Ruslan Pashkevich, Olga Ussatova, Mukaddas Arshidinova

Це дослідження зосереджено на підвищенні безпеки децентралізованих мереж квантового розподілу ключів (КРК), де відсутність центрального органу влади створює значні проблеми, такі як проникнення зловмисних вузлів, непомітний витік ключів та несанкціонований повторний вхід відкликаних учасників. Традиційні моделі автентифікації та довіри недостатні для повністю розподілених топологій КРК, які залишаються дуже вразливими до внутрішніх загроз та постійних компрометацій. Щоб вирішити ці ризики, запропоновано багаторівневу структуру безпеки, що складається з трьох інтегрованих компонентів: автентифікація виклик-відповідь (АВВ), динамічна оцінка довіри (ДОД) та контроль доступу на основі блокчейну (ҚДОБ). АВВ перевіряє легітимність вузла за допомогою рандомізованих квантово-станових взаємодій, значно зменшуючи атаки уособлення та квантового повторення. ДОД реалізує оцінку довіри в режимі реального часу, використовуючи виявлення аномалій, для динамічного зниження рівня скомпрометованих вузлів на основі їхніх поведінкових відхилень. ҚДОБ підтримує незмінний та захищений від несанкціонованого доступу реєстр довіри, щоб блокувати повторний вхід відкликаних вузлів під фальсифікованими ідентифікаторами та протистояти атакам Sybil з використанням постквантових криптографічних примітивів. Результати моделювання підтверджують, що система покращує рівень виявлення прихованих загроз, забезпечує затримку автентифікації менше 10 мс та зводить успішність повторного входу до нуля. Запропонована архітектура забезпечує довгострокову масштабованість та стійкість, що робить її застосовною в таких критичних областях, як фінанси, національна інфраструктура та військовий зв'язок. Ця робота пропонує нове, перевірене та масштабоване рішення однієї з найактуальніших відкритих проблем у розподілених квантових мережах.

Ключові слова: КРК, суперпозиція, децентралізація, блокчейн, автентифікація, кібербезпека, оцінка довіри, sybil-стійкість, інсайдер, відтворення.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.337999

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ГРАМОТНОСТІ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ТА ВЕБ-ТЕХНОЛОГІЙ: ІНТЕГРАЦІЯ ESP8266 ТА LARAVEL (с. 51–60)**Zhandos Dosbayev, Amandyk Tuleshov, Arshidin Osmanov, Bibigul Sadykova, Nurzhigit Smailov, Akezhan Sabibolda**

Об'єктом дослідження є застосування мультимедійних технологій для підтримки навчання грамоті казахською мовою за допомогою інтерактивних інструментів, заснованих на інтеграції Інтернету речей та веб-технологій. Проблема, що розглядається, полягає в відсутності ефективних, інтерактивних інструментів для вивчення правильного правопису та вимови казахською мовою, адаптованих до різних ролей та рівнів користувачів. Це дослідження зосереджено на розробці мультимедійної, інтерактивної освітньої системи, спрямованої на підвищення грамотності та сприяння активному вивченню мови. Для проектування цільової системи на апаратній стороні було використано мікроконтролер ESP8266. На кожній кнопці також встановлені реєстри зсуву 74HC165, підтягуючі резистори для забезпечення стабільності сигналу. Програмне рішення на стороні сервера побудовано на фреймворку Laravel. Зв'язок між мікроконтролером та сервером встановлюється за допомогою протоколу WebSocket, безпечне з'єднання між апаратним пристроєм та сервером забезпечується через MAC-адресу. Сервер працює в контейнері Docker з використанням Nginx та підтримує такі ролі користувачів, як адміністратор, викладач та студент. Отримані результати включають робочий прототип навчальної системи, яка дозволяє користувачам виконувати завдання у п'яти інтерактивних режимах. Результати показують, що інтеграція апаратного введення даних у режимі реального часу з гнучкою серверною архітектурою покращує залучення користувачів та персоналізацію навчання. Особливостями рішення є двосторонній зв'язок у режимі реального часу через WebSocket, доступ на основі ролей, модульна конструкція в Docker та підтримка контенту казахською мовою. Рішення призначене для підтримки освітніх закладів, дитячих садків та середовищ дистанційного навчання для вивчення літер та слів, розвитку практик цифрової освіти та вдосконалення адаптивних методів і технологій для розробки освітніх інструментів на основі Інтернету речей.

Ключові слова: інтерактивна система, мультимедіа, ESP8266, WebSocket, фреймворк Laravel, Інтернет речей, вивчення мови.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.337170

РОЗРОБКА МЕТОДУ СЕГМЕНТУВАННЯ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО ЗОБРАЖЕННЯ З БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА НА ОСНОВІ АЛГОРИТМУ ШТУЧНОЇ БДЖОЛИНОЇ КОЛОНІЇ (с. 61–69)**Г. В. Худов, В. Г. Худов, О. М. Маковейчук, С. П. Ярош, І. А. Хижняк, В. В. Варваров, І. М. Бутко, Р. Г. Худов, Ю. І. Шевяков, А. В. Ірха**

Об'єктом дослідження є процес сегментування оптико-електронного зображення з безпілотного літального апарату на основі алгоритму штучної бджолиної колонії. Основна гіпотеза дослідження полягала в тому, що використання алгоритму штучної бджолиної колонії для сегментування оптико-електронного зображення з безпілотного літального апарату дозволить зменшити помилки сегментування першого та другого роду.

Удосконалено метод сегментування оптико-електронного зображення з безпілотного літального апарату на основі алгоритму штучної бджолиної колонії, який, на відміну від відомих, передбачає:

- ініціалізація популяції розвідувальних бджіл;
- обчислення цільової функції;
- визначення найкращих та перспективних позицій;
- обчислення оптимального значення порогу сегментування;
- розділення зображення на сегменти;
- перевірку критерію зупинки;
- міграцію бджіл;
- отримання сегментованого зображення.

Проведені експериментальні дослідження щодо сегментування оптико-електронного зображення з безпілотного літального апарату методом на основі алгоритму штучної бджолиної колонії. Візуальна якість сегментованого зображення дозволяє зробити висновок про можливість проведення сегментування методом на основі штучної бджолиної колонії. Порівняльний аналіз сегментованих зображень (удосконалений та відомий методи) свідчить про більш чітке виділення об'єкту інтересу (автомобіль) методом на основі алгоритму штучної бджолиної колонії. Результати розрахунку помилок сегментування першого та другого роду свідчать про зменшення помилок сегментування першого роду на 9% та помилок другого роду на 7% при сегментуванні оптико-електронного зображення методом на основі алгоритму штучної бджолиної колонії.

Ключові слова: сегментування, оптико-електронне зображення, алгоритм штучної бджолиної колонії, безпілотний літальний апарат.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.337033

ПРОЄКТУВАННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ВІДХОДІВ НА ОСНОВІ ІНТЕГРАЦІЇ РЕГІОНАЛЬНОЇ ГІС ДЛЯ РОЗУМНИХ МІСТ (с. 70–78)**Symbat Nurgaliyeva, Muratali Amangali, Zhuldyz Basheyeva, Nurzhamal Kashkimbayeva, Daniyar Amantayev**

Об'єктом дослідження є система управління побутовими відходами в умовах сучасного урбанізованого середовища, де зростаюча кількість населення та темпи урбанізації створюють нові виклики для екологічної стійкості міст. Ключова проблема полягає в не-

ефективному зборі сміття, що проявляється в частих випадках переповнення контейнерів, нераціональному використанні ресурсів та недосконалому плануванні маршрутів вивезення відходів. У відповідь на ці виклики запропоновано інтелектуальну систему моніторингу, яка поєднує технології Інтернету речей (IoT), комп'ютерного зору, аналітики даних та регіональної геоінформаційної системи (РГІС). Система включає модель комп'ютерного зору, що здійснює аналіз зображень смітєвих контейнерів для визначення рівня їх заповнення. Проведене донавчання моделі на локальних даних з урахуванням особливостей регіону (освітлення, тип контейнерів, погодні умови) дозволило підвищити точність виявлення. Оптимізація маршрутів вивезення відходів здійснюється за допомогою математичної моделі задачі комівояжера, реалізованої через метод Mixed Integer Linear Programming (MILP), що дало змогу скоротити витрати пального, час перевезення та навантаження на персонал. Інтеграція з РГІС та GPS забезпечує динамічну маршрутизацію та просторову візуалізацію інформації в реальному часі. Запропонована система формує замкнений цикл управління, який поєднує в собі автоматизоване виявлення, аналіз ситуації та прийняття рішень. Результати експериментального впровадження демонструють високу ефективність, адаптивність до локальних умов, масштабованість та практичну значущість запропонованого рішення для інших міських територій. У перспективі система може бути розширена для моніторингу стану довкілля (повітря, шум, ґрунт) і прогнозування обсягів утворення відходів, що робить її корисним інструментом для сталого розвитку міської інфраструктури.

Ключові слова: система моніторингу, управління відходами, геоінформаційна система, маршрутизація, контейнер, виявлення, логістика.

DOI 10.15587/1729-4061.2025.335570

РОЗРОБКА ПІДХОДУ ДО ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ДІАБЕТИЧНОЇ РЕТИНОПАТІЇ (с. 79–88)

Saya Sapakova, Nurmaganbet Yesmukhamedov, Askar Sapakov

Об'єктом дослідження є точність діагностики діабетичної ретинопатії за зображеннями сітківки. У цьому дослідженні розглядаються моделі згорткових нейронних мереж (CNN) для автоматичного виявлення діабетичної ретинопатії (ДР) за зображеннями сітківки. Основна проблема полягає в недостатній ефективності базових моделей CNN при розпізнаванні стадій ДР на медичних зображеннях очного дна. З метою її вирішення було оцінено дві архітектури CNN: базову модель та вдосконалену модель, яка включала сучасні методи попередньої обробки даних, зокрема зміну розміру (256×256 і 512×512), нормалізацію, а також застосування технік аугментації, таких як повороти, зсуви, дзеркальне відображення та зміна яскравості для підвищення варіативності навчального набору. Вдосконалена модель показала вищу точність (91% проти 88% у базової) та менші втрати як на етапі навчання, так і валідації. Покращення результатів пояснюється підвищеною якістю вхідних даних та більшим різноманіттям тренувального набору, що сприяло кращому узагальненню та зниженню переобучення. Відмінною рисою отриманих результатів є синергія між попередньою обробкою та архітектурою мережі, яка забезпечила значне покращення точності класифікації навіть в умовах обмежених обчислювальних ресурсів. Це свідчить про перспективність подальших досліджень з використанням більших наборів даних і розширених ресурсів. Практична значущість результатів полягає в можливості застосування таких моделей у клінічних системах для раннього та точного виявлення ДР. Моделі були натреновані на приватному наборі високоякісних зображень очного дна з експертною розміткою, подібному за структурою до EyePACS та APTOS, але не доступному публічно з етичних міркувань.

Ключові слова: діабетична ретинопатія, зображення сітківки, обробка зображень, покращення контрасту, аугментація даних.