

ABSTRACT AND REFERENCES

INFORMATION TECHNOLOGY. INDUSTRY CONTROL SYSTEMS

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.321966

DOMINANT DISASTER DETECTION AND PREDICTION IN COASTAL AREAS USING NEURAL NETWORK SYSTEM TO OPTIMIZE DISASTER MANAGEMENT IN COASTAL AREAS (p. 6–16)**Henny Febriana Harumy**Universitas Sumatera Utara, Padang Bulan,
North Sumatera, IndonesiaORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1504-5570>**Dewi Sartika Ginting**Universitas Sumatera Utara, Padang Bulan,
North Sumatera, IndonesiaORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9488-9928>**Fuzy Yustika Manik**Universitas Sumatera Utara, Padang Bulan,
North Sumatera, IndonesiaORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6942-458X>**Mesra Betty Yel**Sekolah Tinggi Ilmu Komputer Cipta Karya Informatika, Duren
Sawit, Kec. Duren Sawit, Kota Jakarta Timur, Daerah Khusus
Ibukota Jakarta, IndonesiaORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8336-5058>

The object of the study is detection and prediction dominant disaster in coastal areas. The problem being addressed is the lack of accurate and efficient early warning systems for these disasters, which can result in significant damage and economic loss. To solve this problem, this study develops an innovative application and website designed to predict the most dominant disasters in coastal areas. This system utilizes real-time data processing to provide early warnings and risk assessments, assisting communities and emergency response teams in preparing for potential threats. Testing results indicate that 89 % of the system's predictions are effective in disaster management. The research methodology includes observation, data collection, dataset preprocessing, analysis, and the development of a smart detection system (SDS) using Geographic Information System (GIS)-based mapping and clustering techniques. The findings are explained through the hybrid deep neural network (DNN) method, which analyzes various environmental factors, including temperature, wind speed, wave height, weather disturbances, and sea level fluctuations. Additional features, such as daily weather forecasts, enhance the system's predictive capabilities. This intelligent disaster management system, powered by a neural network, ensures effective disaster prediction and mitigation. The system is designed to be applied in coastal areas with limited technology, thereby improving disaster preparedness. Additionally, the application enables governments to monitor and respond to disasters more efficiently. By integrating artificial intelligence (AI)-based solutions, this research significantly contributes to disaster management, offering innovative strategies to minimize risks and enhance emergency response efforts.

Keywords: deep neural network (DNN), disaster prediction, coastal area, mitigation, smart detection system (SDS), geographic information system (GIS) mapping, early warning system (EWS).

References

1. Tanzil Furqon, M., Muflikhah, L. (2016). Clustering The Potential Risk Of Tsunami Using Density-Based Spatial Clustering Of Application With Noise (Dbscan). *Journal of Enviromental Engineering and Sustainable Technology*, 3 (1), 1–8. <https://doi.org/10.21776/ub.jeest.2016.003.01.1>
2. Li, Y., Goda, K. (2023). Risk-based tsunami early warning using random forest. *Computers & Geosciences*, 179, 105423. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2023.105423>
3. Moya, L., Muhari, A., Adriano, B., Koshimura, S., Mas, E., Marval-Perez, L. R., Yokoya, N. (2020). Detecting urban changes using phase correlation and ℓ_1 -based sparse model for early disaster response: A case study of the 2018 Sulawesi Indonesia earthquake-tsunami. *Remote Sensing of Environment*, 242, 111743. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111743>
4. Wang, Y., Imai, K., Miyashita, T., Ariyoshi, K., Takahashi, N., Satake, K. (2023). Coastal tsunami prediction in Tohoku region, Japan, based on S-net observations using artificial neural network. *Earth, Planets and Space*, 75 (1). <https://doi.org/10.1186/s40623-023-01912-6>
5. Xu, H., Wu, H. (2023). Accurate tsunami wave prediction using long short-term memory based neural networks. *Ocean Modelling*, 186, 102259. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2023.102259>
6. Lin, A., Wu, H., Liang, G., Cardenas-Tristan, A., Wu, X., Zhao, C., Li, D. (2020). A big data-driven dynamic estimation model of relief supplies demand in urban flood disaster. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 49, 101682. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101682>
7. Zhai, W. (2022). A multi-level analytic framework for disaster situational awareness using Twitter data. *Computational Urban Science*, 2 (1). <https://doi.org/10.1007/s43762-022-00052-z>
8. Jain, N., Virmani, D., Abraham, A., Salas-Morera, L., Garcia-Hernandez, L. (2020). Did They Sense it Coming? A Pipelined Approach for Tsunami Prediction Based on Aquatic Behavior Using Ensemble Clustering and Fuzzy Rule-Based Classification. *IEEE Access*, 8, 166922–166939. <https://doi.org/10.1109/access.2020.3022865>
9. Behrens, J., Løvholt, F., Jalayer, F., Lorito, S., Salgado-Gálvez, M. A., Sørensen, M. et al. (2021). Probabilistic Tsunami Hazard and Risk Analysis: A Review of Research Gaps. *Frontiers in Earth Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.628772>
10. Jia, J., Ye, W. (2023). Deep Learning for Earthquake Disaster Assessment: Objects, Data, Models, Stages, Challenges, and Opportunities. *Remote Sensing*, 15 (16), 4098. <https://doi.org/10.3390/rs15164098>
11. Virtriana, R., Harto, A. B., Atmaja, F. W., Meilano, I., Fauzan, K. N., Anggraini, T. S. et al. (2022). Machine learning remote sensing using the random forest classifier to detect the building damage caused by the Anak Krakatau Volcano tsunami. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 14 (1), 28–51. <https://doi.org/10.1080/19475705.2022.2147455>
12. Cheng, A.-C., Suppasri, A., Pakoksung, K., Imamura, F. (2023). Characteristics of consecutive tsunamis and resulting tsunami behaviors in southern Taiwan induced by the Hengchun earthquake doublet on 26 December 2006. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 23 (2), 447–479. <https://doi.org/10.5194/nhess-23-447-2023>

13. Khan, A., Gupta, S., Gupta, S. K. (2020). Multi-hazard disaster studies: Monitoring, detection, recovery, and management, based on emerging technologies and optimal techniques. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 47, 101642. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101642>
14. Isnaeni, A. Y., Prasetyo, S. Y. J. (2022). Klasifikasi Wilayah Potensi Risiko Kerusakan Lahan Akibat Bencana Tsunami Menggunakan Machine Learning. *Jurnal Teknik Informatika Dan Sistem Informasi*, 8 (1). <https://doi.org/10.28932/jutisi.v8i1.4056>
15. Toha, H. R., Hashim, J. H., Sahani, M., Shamsir, M. S. (2014). Spatial occurrence of dengue fever and its relationship with land use in Selangor, Malaysia. *BMC Public Health*, 14 (S1). <https://doi.org/10.1186/1471-2458-14-s1-p16>
16. Harumy, T. H. F., Yustika Manik, F., Altaha. (2021). Optimization Classification of Diseases Which is Dominant Suffered by Coastal Areas Using Neural Network. 2021 International Conference on Data Science, Artificial Intelligence, and Business Analytics (DATABIA), 136–141. <https://doi.org/10.1109/databia53375.2021.9650223>
17. Hidayat, M. A., Husni, N. L., Damsi, F. (2022). Pendeteksi Banjir Dengan Image Processing Berbasis Convolutional Neural Network (CNN) pada Kamera Pengawas. *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, 2 (2), 10–18. <https://doi.org/10.57152/malcom.v2i2.382>
18. Isdianto, A., Asyari, I. M., Haykal, M. F., Adibah, F., Irsyad, M. J., Supriyadi, S. (2020). Analisis Perubahan Garis Pantai Dalam Mendukung Ketahanan Ekosistem Pesisir. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 6 (2). <https://doi.org/10.20527/jukung.v6i2.9260>
19. Sadollah, A., Eskandar, H., Lee, H. M., Yoo, D. G., Kim, J. H. (2016). Water cycle algorithm: A detailed standard code. *SoftwareX*, 5, 37–43. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2016.03.001>
20. Henriquez, P. A., Ruz, G. A. (2018). A non-iterative method for pruning hidden neurons in neural networks with random weights. *Applied Soft Computing*, 70, 1109–1121. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.03.013>
21. Balamurugan, P., Amudha, T., Satheeshkumar, J., Somam, M. (2021). Optimizing Neural Network Parameters For Effective Classification of Benign and Malicious Websites. *Journal of Physics: Conference Series*, 1998 (1), 012015. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1998/1/012015>
22. Yumanda, E., Pakereng, M. A. I. (2021). Klasifikasi Resiko Kerusakan Lahan Akibat Tsunami Menggunakan Citra Landsat 8 Di Kabupaten Bantul. *JATISI (Jurnal Teknik Informatika Dan Sistem Informasi)*, 8 (3), 1496–1507. <https://doi.org/10.35957/jatisi.v8i3.1109>
23. Arsa, D. M. S., Ma'sum, M. A., Rachmadi, M. F., Jatmiko, W. (2017). Optimization of Stacked Unsupervised Extreme Learning Machine to improve classifier performance. 2017 International Workshop on Big Data and Information Security (IWBIS), 63–68. <https://doi.org/10.1109/iwbis.2017.8275104>
24. Eskandar, H., Sadollah, A., Bahreininejad, A., Hamdi, M. (2012). Water cycle algorithm – A novel metaheuristic optimization method for solving constrained engineering optimization problems. *Computers & Structures*, 110–111, 151–166. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2012.07.010>
25. Mohammed, A. J., Al-Majidi, S. D., Al-Nussairi, M. Kh., Abbod, M. F., Al-Raweshidy, H. S. (2022). Design of a Load Frequency Controller based on Artificial Neural Network for Single-Area Power System. 2022 57th International Universities Power Engineering Conference (UPEC), 1–5. <https://doi.org/10.1109/upec55022.2022.9917853>
26. Poostchi, M., Silamut, K., Maude, R. J., Jaeger, S., Thoma, G. (2018). Image analysis and machine learning for detecting malaria. *Translational Research*, 194, 36–55. <https://doi.org/10.1016/j.trsl.2017.12.004>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.325517

DETERMINING AN APPROACH TO IRIS RECOGNITION DEPENDING ON SHOOTING CONDITIONS (p. 17–27)

Olesia Barkovska

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7496-4353>

Igor Ruban

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

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

Yuri Romanenkov

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6544-5348>

Pavlo Botnar

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-7218-9515>

Anton Havrashenko

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8802-0529>

The object of this study is the development and evaluation of image processing and analysis methods for iris recognition, which can be integrated into human-machine interaction (HMI) systems based on biometric data or other contactless interaction approaches.

Enabling high accuracy and reliability of biometric iris recognition systems under variable imaging conditions remains an open scientific challenge. One of the primary difficulties is the impact of changing lighting conditions, head tilt, and partial eye openness on identification results.

This study assesses the effect of preprocessing methods (Equalization Histogram, CLAHE) on iris image quality and compares the algorithmic method (Hamming Distance) with neural network models (CNN, DenseNet) based on key metrics, including accuracy, False Match Rate, False Non-Match Rate, and Equal Error Rate. Additionally, the influence of training dataset structure and neural network hyperparameters on classification performance was analyzed.

The results demonstrate that the Hamming Distance method (HD=0.35) achieves 95.5 % accuracy, making it a competitive alternative to neural networks. It was established that combining CLAHE and Equalization Histogram effectively reduces noise and enhances segmentation accuracy. Furthermore, it was determined that the DenseNet-201 neural network achieves an accuracy of 99.93 % when using an optimal dataset split (70 %:15 %:15 %). The study confirms that preprocessing techniques such as normalization and adaptive contrast enhancement significantly reduce recognition errors under varying lighting conditions.

The proposed solution holds significant potential for assistive technologies for individuals with visual impairments, the automotive industry, as well as security systems.

Keywords: iris recognition, Hamming Distance, HMI systems, DenseNet, CLAHE, Equalization Histogram.

References

1. Mourtzis, D., Angelopoulos, J., Panopoulos, N. (2023). The Future of the Human-Machine Interface (HMI) in Society 5.0. *Future Internet*, 15 (5), 162. <https://doi.org/10.3390/fi15050162>
2. Zhou, H., Wang, D., Yu, Y., Zhang, Z. (2023). Research Progress of Human-Computer Interaction Technology Based on Gesture Recognition. *Electronics*, 12 (13), 2805. <https://doi.org/10.3390/electronics12132805>

3. Ban, S., Lee, Y. J., Yu, K. J., Chang, J. W., Kim, J.-H., Yeo, W.-H. (2023). Persistent Human-Machine Interfaces for Robotic Arm Control Via Gaze and Eye Direction Tracking. *Advanced Intelligent Systems*, 5 (7). <https://doi.org/10.1002/aisy.202200408>
4. Desmarais, Y., Mottet, D., Slangen, P., Montesinos, P. (2021). A review of 3D human pose estimation algorithms for markerless motion capture. *Computer Vision and Image Understanding*, 212, 103275. <https://doi.org/10.1016/j.cviu.2021.103275>
5. Malgheet, J. R., Manshor, N. B., Affendey, L. S. (2021). Iris Recognition Development Techniques: A Comprehensive Review. *Complexity*, 2021 (1). <https://doi.org/10.1155/2021/6641247>
6. Barkovska, O., Liapin, Y., Muzyka, T., Ryndyk, I., Botnar, P. (2024). Gaze direction monitoring model in computer system for academic performance assessment. *Information Technologies and Learning Tools*, 99 (1), 63–75. <https://doi.org/10.33407/itlt.v99i1.5503>
7. Barkovska, O., Axak, N., Rosinskiy, D., Liashenko, S. (2018). Application of mydriasis identification methods in parental control systems. 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), 459–463. <https://doi.org/10.1109/dessert.2018.8409177>
8. Perea-Garcia, J. O., Danel, D. P., Monteiro, A. (2021). Diversity in Primate External Eye Morphology: Previously Undescribed Traits and Their Potential Adaptive Value. *Symmetry*, 13 (7), 1270. <https://doi.org/10.3390/sym13071270>
9. Sunilkumar, M., Rudresh, D. R., Prakash, H., Santosh, P., Jambukesh, H. J., Harakannanavar, S. S. (2023). Development of iris recognition model using transform domain approaches with Hamming distance classifier. *International Journal of Advances in Engineering and Management*, 5 (5), 459–469. Available at: https://ijaem.net/issue_dcp/Development%20of%20iris%20recognition%20model%20using%20transform%20domain%20approaches%20with%20Hamming%20distance%20classifier.pdf
10. Xiong, Q., Zhang, X., He, S., Shen, J. (2022). Data Augmentation for Small Sample Iris Image Based on a Modified Sparrow Search Algorithm. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 15 (1). <https://doi.org/10.1007/s44196-022-00173-7>
11. Hapsari, R. K., Utoyo, M. I., Rulaningtyas, R., Suprajitno, H. (2020). Comparison of Histogram Based Image Enhancement Methods on Iris Images. *Journal of Physics: Conference Series*, 1569 (2), 022002. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1569/2/022002>
12. Hassan, R., Kasim, S., Wan Chek Jafery, W. A. Z., Ali Shah, Z. (2017). Image Enhancement Technique at Different Distance for Iris Recognition. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 7 (4-2), 1510. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.7.4-2.3392>
13. Kintonova, A., Povkhan, I., Mussaif, M., Gabdreshov, G. (2022). Improvement of iris recognition technology for biometric identification of a person. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (2 (120)), 60–69. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.269948>
14. Venkatesh, P., Shyam, G. K., Alam, S. (2024). Enhancement of detection accuracy for preventing iris presentation attack. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 14 (4), 4376. <https://doi.org/10.11591/ijece.v14i4.pp4376-4385>
15. Nguyen, K., Proença, H., Alonso-Fernandez, F. (2024). Deep Learning for Iris Recognition: A Survey. *ACM Computing Surveys*, 56 (9), 1–35. <https://doi.org/10.1145/3651306>
16. Damayanti, F. A., Andri Asmara, R., Prasetyo, G. B. (2024). Residual Network Deep Learning Model with Data Augmentation Effects in

the Implementation of Iris Recognition. *International Journal of Frontier Technology and Engineering*, 2 (2), 79–86. <https://doi.org/10.33795/ijfte.v2i2.6223>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.323176

DENSENET DEVELOPMENT WITH SQUEEZE-AND-EXCITATION BLOCK FOR TOMATO PLANT DISEASE CLASSIFICATION (p. 28–38)

Pandi Barita Nauli Simangunsong

Universitas Sumatera Utara, Padang Bulan,
North Sumatera, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5897-177X>

Poltak Sihombing

Universitas Sumatera Utara, Padang Bulan,
North Sumatera, Indonesia

ORCID : <https://orcid.org/0000-0001-5348-4537>

Syahril Efendi

Universitas Sumatera Utara, Padang Bulan,
North Sumatera, Indonesia

ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-3944-5459>

Fahmi Fahmi

Universitas Sumatera UtaraPadang Bulan,
North Sumatera, Indonesia, 20222

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6760-4824>

This study focuses on tomato leaf disease classification using an optimized deep learning architecture. This study proposes an improved architecture called DenseNet-SEGR, which integrates a novel Squeeze-and-Excitation (SE) block with a customized growth rate of 48 to improve feature selection and classification accuracy. Unlike standard methods, this model replaces Global Average Pooling (GAP) with an integral-based squeeze method, thus enabling a more continuous and accurate feature representation. The use of SE blocks dynamically recalibrates the importance of features such as texture, color, and tissue patterns, thereby increasing sensitivity to disease symptoms. The model was trained using the PlantVillage dataset, which includes 12,246 images spanning 10 tomato leaf disease categories, such as bacterial spot, early blight, late blight, mosaic virus, and healthy leaves. Various augmentation techniques, including rotation, scaling, and contrast adjustment, were employed to strengthen generalization and improve robustness against environmental variations. Furthermore, batch normalization and adaptive learning rate scheduling were integrated to enhance model stability and prevent overfitting. As a result, the DenseNet-SEGR architecture is able to achieve a classification accuracy of 98.22 %, outperforming DenseNet-121, DenseNet-201, and MobileNetV2. This result is explained by the integration of adaptive attention mechanisms, sophisticated data augmentation strategies, and optimized architecture. The results can be effectively applied in real-world precision agriculture, especially in edge-based or mobile disease detection systems for early intervention and crop protection.

Keywords: tomato classification, tomato leaf disease, DenseNet-SEGR, squeeze-and-excitation, growth rate, deep learning.

References

1. Bakr, M., Abdel-Gaber, S., Nasr, M., Hazman, M. (2022). Tomato disease detection model based on densenet and transfer learning. *Applied Computer Science*, 18 (2), 56–70. <https://doi.org/10.35784/acs-2022-13>

2. Ahmed, S., Hasan, Md. B., Ahmed, T., Sony, Md. R. K., Kabir, Md. H. (2022). Less is More: Lighter and Faster Deep Neural Architecture for Tomato Leaf Disease Classification. *IEEE Access*, 10, 68868–68884. <https://doi.org/10.1109/access.2022.3187203>
3. Khan, I., Sohail, S. S., Madsen, D. Ø., Khare, B. K. (2024). Deep transfer learning for fine-grained maize leaf disease classification. *Journal of Agriculture and Food Research*, 16, 101148. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101148>
4. Arulananth, T. S., Prakash, S. W., Ayyasamy, R. K., Kavitha, V. P., Kuppusamy, P. G., Chinnasamy, P. (2024). Classification of Paediatric Pneumonia Using Modified DenseNet-121 Deep-Learning Model. *IEEE Access*, 12, 35716–35727. <https://doi.org/10.1109/access.2024.3371151>
5. Zhu, H., Wang, L., Shen, N., Wu, Y., Feng, S., Xu, Y. et al. (2023). MS-HNN: Multi-Scale Hierarchical Neural Network With Squeeze and Excitation Block for Neonatal Sleep Staging Using a Single-Channel EEG. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 31, 2195–2204. <https://doi.org/10.1109/tnsre.2023.3266876>
6. Yuan, Z., Li, X., Hao, Z., Tang, Z., Yao, X., Wu, T. (2024). Intelligent prediction of Alzheimer's disease via improved multifeature squeeze-and-excitation-dilated residual network. *Scientific Reports*, 14 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-62712-w>
7. Zhu, C., Wang, L., Zhao, W., Lian, H. (2024). Image classification based on tensor network DenseNet model. *Applied Intelligence*, 54 (8), 6624–6636. <https://doi.org/10.1007/s10489-024-05472-4>
8. Cui, X., Yu, Z., Li, J., Jiang, B., Li, S., Liu, J. (2023). Research on RFID Localization Algorithm of Refrigerator Foods Based on Improved DenseNet Model. *IEEE Networking Letters*, 5 (2), 135–139. <https://doi.org/10.1109/lnet.2023.3258458>
9. Mugume, E., Tumwesigye, A., Muhangi, A. (2021). A spatio-temporal sleep mode approach to improve energy efficiency in small cell DenseNets. *SAIEE Africa Research Journal*, 112 (3), 134–141. <https://doi.org/10.23919/saiee.2021.9513627>
10. Lu, T., Han, B., Chen, L., Yu, F., Xue, C. (2021). A generic intelligent tomato classification system for practical applications using DenseNet-201 with transfer learning. *Scientific Reports*, 11 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95218-w>
11. Asker, M. E., Güngör, M. (2024). A hybrid approach consisting of 3D depthwise separable convolution and depthwise squeeze-and-excitation network for hyperspectral image classification. *Earth Science Informatics*, 17 (6), 5795–5821. <https://doi.org/10.1007/s12145-024-01469-2>
12. Roy, K., Chaudhuri, S. S., Frnda, J., Bandopadhyay, S., Ray, I. J., Banerjee, S., Nedoma, J. (2023). Detection of Tomato Leaf Diseases for Agro-Based Industries Using Novel PCA DeepNet. *IEEE Access*, 11, 14983–15001. <https://doi.org/10.1109/access.2023.3244499>
13. Zhang, Y., Zhang, X., Li, Z., Li, X., Wang, Z. (2024). Hierarchical intelligent lithology recognition for thin section images using enhanced DenseNet. *Earth Science Informatics*, 18 (1). <https://doi.org/10.1007/s12145-024-01663-2>
14. Bouni, M., Hssina, B., Douzi, K., Douzi, S. (2024). Synergistic use of hand-crafted and deep learning features for tomato leaf disease classification. *Scientific Reports*, 14 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-71225-5>
15. Umar, M., Altaf, S., Ahmad, S., Mahmoud, H., Mohamed, A. S. N., Ayub, R. (2024). Precision Agriculture Through Deep Learning: Tomato Plant Multiple Diseases Recognition With CNN and Improved YOLOv7. *IEEE Access*, 12, 49167–49183. <https://doi.org/10.1109/access.2024.3383154>
16. Cheng, Y.-H., Kuo, C.-N., Lin, Y.-D. (2024). An Artificial IoT-Enabled Smart Production Line for 360° Visual Defect Detection and Classification of Cherry Tomatoes. *IEEE Internet of Things Journal*, 11 (10), 18082–18098. <https://doi.org/10.1109/jiot.2024.3360715>
17. Liu, H., Liu, S., Wen, C., Wong, W. E. (2022). TBEM: Testing-Based GPU-Memory Consumption Estimation for Deep Learning. *IEEE Access*, 10, 39674–39680. <https://doi.org/10.1109/access.2022.3164510>
18. Mao, Y., Kim, J., Podina, L., Kohandel, M. (2025). Dilated SE-DenseNet for brain tumor MRI classification. *Scientific Reports*, 15 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-86752-y>
19. Devassy, B. R., Antony, J. K. (2023). Histopathological image classification using CNN with squeeze and excitation networks based on hybrid squeezing. *Signal, Image and Video Processing*, 17 (7), 3613–3621. <https://doi.org/10.1007/s11760-023-02587-y>
20. Al-Waeli, M., Shahmohammadi, N., Tavakoli, S., Dizadji, A., Kvarnheden, A. (2024). Infection of tomato in Iraq with tomato leaf curl Palampur virus and multiple variants of tomato yellow leaf curl virus. *Journal of Plant Pathology*, 106 (3), 1283–1294. <https://doi.org/10.1007/s42161-024-01682-4>
21. Romero-Rodríguez, B., Petek, M., Jiao, C., Križnik, M., Zagorščak, M., Fei, Z. et al. (2023). Transcriptional and epigenetic changes during tomato yellow leaf curl virus infection in tomato. *BMC Plant Biology*, 23 (1). <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04534-y>
22. Khan, M., Hossni, Y. (2025). A comparative analysis of LSTM models aided with attention and squeeze and excitation blocks for activity recognition. *Scientific Reports*, 15 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-88378-6>
23. Zhou, L.-Q., Sun, P., Li, D., Piao, J.-C. (2022). A Novel Object Detection Method in City Aerial Image Based on Deformable Convolutional Networks. *IEEE Access*, 10, 31455–31465. <https://doi.org/10.1109/access.2022.3156953>
24. Xu, J., Pan, S., Sun, P. Z. H., Hyeong Park, S., Guo, K. (2023). Human-Factors-in-Driving-Loop: Driver Identification and Verification via a Deep Learning Approach using Psychological Behavioral Data. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 24 (3), 3383–3394. <https://doi.org/10.1109/tits.2022.3225782>
25. Sun, M., Yu, M., Lv, P., Li, A., Wang, H., Zhang, X. et al. (2021). Man-Made Threat Event Recognition Based on Distributed Optical Fiber Vibration Sensing and SE-WaveNet. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 70, 1–11. <https://doi.org/10.1109/tim.2021.3081178>
26. Al Jbaar, M. A., Dawwd, S. A. (2023). SIMD implementation of deep CNNs for myopia detection on a single-board computer system. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (125)), 98–108. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.289007>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.324680

DEVSING A FAST MEDIAN FILTERING PROCEDURE FOR ALIGNING THE NOISE BACKGROUND OF A DIGITAL FRAME (p. 39–46)

Vladimir Vlasenko

National Space Facilities Control and Test Center, Kyiv, Ukraine

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

Sergii Khlamov

SoftServe, Lviv, Ukraine

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

Zhanna Deineko

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

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

Ihor Levykin

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8086-237X>

Iryna Tabakova

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6629-4927>

Oleksii Khoroshevskiy

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6260-2045>

Iryna Khoroshevska

Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics,
 Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8990-9891>

The object of this study is the process of filtering astronomical frames that contain images of objects in the Solar System. In order to recognize the image of an object in contrast with the background of the frame, it is necessary to filter the image. It is proposed to use a modification of median filtering to reduce the dynamic range of the background substrate. This will lead to an increase in the signal-to-noise ratio of the entire image. However, the identified problem area of each image during filtering is the distortion of the image structure and artifacts. Therefore, to solve this problem, a fast median filtering procedure has been proposed to eliminate them.

A new technique for sorting the brightness of pixels in the median filter window using a histogram has been proposed. For comparison, a classic median filter was chosen with a modification, namely, with the use of quick sorting. The disadvantage of this modification is the fact that during sorting, all the pixels that fall into the median filter window are used every time while sorting using a histogram makes it possible to add and remove from the histogram only those pixel values that appear when the window is shifted.

The devised procedure of fast median filtering was tested in practice within the framework of the CoLiTec project. It was implemented at the stage of in-frame processing of the Lemur software.

This study showed that the application of the fast median filtering procedure makes it possible to remove structural distortions and image artifacts, which leads to an increase in the signal/noise ratio by 3–5 times. Also, owing to sorting with the help of a histogram, the number of comparisons in the median filter window was reduced by 4–30 times, depending on the size of the window. As a result, this led to a decrease in the calculated time by 3–9 times.

Keywords: fast median filtering, brightness histogram, sorting, structure distortion, astronomical image.

References

- Wheeler, L., Dotson, J., Aftosmis, M., Coates, A., Chomette, G., Mathias, D. (2024). Risk assessment for asteroid impact threat scenarios. *Acta Astronautica*, 216, 468–487. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2023.12.049>
- Troianskyi, V., Kankiewicz, P., Oszkiewicz, D. (2023). Dynamical evolution of basaltic asteroids outside the Vesta family in the inner main belt. *Astronomy & Astrophysics*, 672, A97. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202245678>
- Troianskyi, V., Godunova, V., Serebryanskiy, A., Aimanova, G., Franco, L., Marchini, A. et al. (2024). Optical observations of the potentially hazardous asteroid (4660) Nereus at opposition 2021. *Icarus*, 420, 116146. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2024.116146>
- Khalil, M., Said, M., Osman, H., Ahmed, B., Ahmed, D., Younis, N. et al. (2019). Big data in astronomy: from evolution to revolution. *International Journal of Advanced Astronomy*, 7 (1), 11–14. <https://doi.org/10.14419/ijaa.v7i1.18029>
- Adam, G. K., Kontaxis, P. A., Doulos, L. T., Madias, E.-N. D., Bourousis, C. A., Topalis, F. V. (2019). Embedded Microcontroller with a CCD Camera as a Digital Lighting Control System. *Electronics*, 8 (1), 33. <https://doi.org/10.3390/electronics8010033>
- Vavilova, I., Pakuliak, L., Babyk, I., Elyiv, A., Dobrycheva, D., Melnyk, O. (2020). Surveys, Catalogues, Databases, and Archives of Astronomical Data. *Knowledge Discovery in Big Data from Astronomy and Earth Observation*, 57–102. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819154-5.00015-1>
- Zhang, Y., Zhao, Y., Cui, C. (2002). Data mining and knowledge discovery in database of astronomy. *Progress in Astronomy*, 20 (4), 312–323.
- Chalyi, S., Levykin, I., Biziuk, A., Vovk, A., Bogatov, I. (2020). Development of the technology for changing the sequence of access to shared resources of business processes for process management support. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (3 (104)), 22–29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.198527>
- Khramov, S., Savanevych, V., Tabakova, I., Trunova, T. (2022). The astronomical object recognition and its near-zero motion detection in series of images by in situ modeling. 2022 29th International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP), 1–4. <https://doi.org/10.1109/iwssip55020.2022.9854475>
- Oszkiewicz, D., Troianskyi, V., Galád, A., Hanuš, J., Ďurech, J., Wilauer, E. et al. (2023). Spins and shapes of basaltic asteroids and the missing mantle problem. *Icarus*, 397, 115520. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2023.115520>
- Savanevych, V., Khramov, S., Briukhovetskyi, O., Trunova, T., Tabakova, I. (2023). Mathematical Methods for an Accurate Navigation of the Robotic Telescopes. *Mathematics*, 11 (10), 2246. <https://doi.org/10.3390/math1102246>
- Bellanger, M. (2024). *Digital Signal Processing: Theory and Practice*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781394182695>
- Vlasenko, V., Khramov, S., Savanevych, V., Trunova, T., Deineko, Z., Tabakova, I. (2024). Development of a procedure for fragmenting astronomical frames to accelerate high frequency filtering. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (9 (129)), 70–77. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.306227>
- Chen, S., Feng, H., Pan, D., Xu, Z., Li, Q., Chen, Y. (2021). Optical Aberrations Correction in Postprocessing Using Imaging Simulation. *ACM Transactions on Graphics*, 40 (5), 1–15. <https://doi.org/10.1145/3474088>
- Al-Sharo, Y. M., Abu-Jassar, A. T., Sotnik, S., Lyashenko, V. (2021). Neural Networks As A Tool For Pattern Recognition of Fasteners. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 69 (10), 151–160. <https://doi.org/10.14445/22315381/ijett-v69i10p219>
- Khramov, S., Savanevych, V., Vlasenko, V., Briukhovetskyi, O., Trunova, T., Levykin, I. et al. (2023). Development of the matched filtration of a blurred digital image using its typical form. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (9 (121)), 62–71. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.273674>
- Burger, W., Burge, M. J. (2022). *Digital Image Processing*. In *Texts in Computer Science*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-05744-1>
- Khramov, S., Tabakova, I., Trunova, T. (2022). Recognition of the astronomical images using the Sobel filter. 2022 29th International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP), 1–4. <https://doi.org/10.1109/iwssip55020.2022.9854425>

19. Vlasenko, V., Khlamov, S., Savanevych, V. (2024). Devising a procedure for the brightness alignment of astronomical frames background by a high frequency filtration to improve accuracy of the brightness estimation of objects. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (2 (128)), 31–38. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.301327>
20. Dougherty, E. R. (2020). *Digital Image Processing Methods*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003067054>
21. Abdikerimova, G., Yessenova, M., Yerzhanova, A., Manbetova, Z., Murzabekova, G., Kaibassova, D. et al. (2023). Applying textural Law's masks to images using machine learning. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 13 (5), 5569. <https://doi.org/10.11591/ijece.v13i5.pp5569-5575>
22. Azhibekova, Z., Bekbayeva, R., Yussupova, G., Kaibassova, D., Ostretsova, I., Muratbekova, S. et al. (2024). Using deep learning to diagnose retinal diseases through medical image analysis. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 14 (6), 6455. <https://doi.org/10.11591/ijece.v14i6.pp6455-6465>
23. Halachev, P. (2021). Application of artificial neural networks for prediction of business indicators. *Mathematical Modeling*, 5 (4), 141–144. Available at: <https://stumejournals.com/journals/mm/2021/4/141>
24. Turarova, M., Bekbayeva, R., Abdykerimova, L., Aitimov, M., Bayegizova, A., Smailova, U. et al. (2024). Generating images using generative adversarial networks based on text descriptions. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 14 (2), 2014. <https://doi.org/10.11591/ijece.v14i2.pp2014-2023>
25. Gonzalez, R., Woods, R. (2018). *Digital image processing*. Pearson. Available at: <https://dl.icdst.org/pdfs/files4/01c56e081202b62bd7d3b4f8545775fb.pdf>
26. Shvedun, V. O., Khlamov, S. V. (2016). Statistical modeling for determination of perspective number of advertising legislation violations. *Actual Problems of Economics*, 184 (10), 389–396.
27. Troianskyi, V., Kashuba, V., Bazyey, O., Okhotko, H., Savanevych, V., Khlamov, S., Briukhovetskyi, A. (2023). First reported observation of asteroids 2017 AB8, 2017 QX33, and 2017 RV12. *Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso*, 53 (2). <https://doi.org/10.31577/caosp.2023.53.2.5>
28. Khlamov, S., Savanevych, V., Briukhovetskyi, O., Trunova, T. (2023). Big Data Analysis in Astronomy by the Lemur Software. 2023 IEEE International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo), 5–8. <https://doi.org/10.1109/ukrmico61577.2023.10380398>
29. Khlamov, S., Savanevych, V., Tabakova, I., Kartashov, V., Trunova, T., Kolendovska, M. (2024). Machine Vision for Astronomical Images using The Modern Image Processing Algorithms Implemented in the CoLiTec Software. *Measurements and Instrumentation for Machine Vision*, 269–310. <https://doi.org/10.1201/9781003343783-12>
30. Khlamov, S., Savanevych, V., Briukhovetskyi, O., Tabakova, I., Trunova, T. (2022). Astronomical Knowledge Discovery in Databases by the CoLiTec Software. 2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), 583–586. <https://doi.org/10.1109/acit54803.2022.9913188>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.326177

SEMANTIC TEXT SPLITTING METHOD DEVELOPMENT FOR RAG SYSTEMS WITH CONTROLLED THRESHOLD AND SLIDING WINDOW SIZE (p. 47–57)

Oleg Galchonkov

Odesa Polytechnic National University, Odesa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5468-7299>

Oleksii Horchynskyi

Odesa Polytechnic National University, Odesa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8656-1784>

Svetlana Antoshchuk

Odesa Polytechnic National University, Odesa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9346-145X>

Volodymyr Nareznoy

LLC “Provectus IT”, San Francisco, CA, USA
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1397-5687>

The object of this study is Retrieval-Augmented Generation (RAG) systems used to improve the quality of responses by large language models (LLMs). The task addressed is to improve the efficiency of the semantic text segmentation stage in such systems, which directly affects the accuracy of extracting relevant fragments.

The work reports a method of semantic text segmentation for RAG systems, based on the sliding window technique with a dynamically changing size. The method devised uses embedding models and makes it possible to take into account the semantic context of the text. The adjustable value of the cosine similarity threshold used in semantic splitting makes it possible to additionally increase the relevance of query formation to LLM. The developed algorithm for setting this threshold value makes it possible to more fully take into account the specificity of the query subject. Compared to advanced methods of semantic text segmentation, the method devised provides the following gains depending on the maximum document size parameter: IoU from 0.2 % to 2.8 %, precision from 0.4 % to 3.1 %, omega precision from 1.4 % to 14.8 %. The gains are primarily associated with text processing at the level of semantically complete units in the form of sentences, rather than tokens. In addition, the dynamic sliding window technique allowed for better adaptation to the text structure. The results are valid within the framework of the used evaluation, which covers heterogeneous text datasets, and could be applied in practice when building RAG systems in industries with high requirements for preserving the semantic integrity of the text, for example, in law, science, or technology. The algorithms that implement the proposed method are posted on GitHub as Python libraries.

Keywords: RAG, sliding-window, semantic, chunking, embeddings, binary search, evaluation, tuning, AI, LLM.

References

1. Huang, L., Yu, W., Ma, W., Zhong, W., Feng, Z., Wang, H. et al. (2025). A Survey on Hallucination in Large Language Models: Principles, Taxonomy, Challenges, and Open Questions. *ACM Transactions on Information Systems*, 43 (2), 1–55. <https://doi.org/10.1145/3703155>
2. Liu, N. F., Lin, K., Hewitt, J., Paranjape, A., Bevilacqua, M., Petroni, F., Liang, P. (2024). Lost in the Middle: How Language Models Use Long Contexts. *Transactions of the Association for Computational Linguistics*, 12, 157–173. https://doi.org/10.1162/tacl_a_00638
3. Hosseini, P., Castro, I., Ghinassi, I., Purver, M. (2025). Efficient Solutions For An Intriguing Failure of LLMs: Long Context Window Does Not Mean LLMs Can Analyze Long Sequences Flawlessly. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2408.01866>
4. Lewis, P., Perez, E., Piktus, A., Petroni, F., Karpukhin, V., Goyal, N. et al. (2020). Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2005.11401>
5. Ma, X., Gong, Y., He, P., Zhao, H., Duan, N. (2023). Query Rewriting in Retrieval-Augmented Large Language Models. *Proceedings of the*

- 2023 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. <https://doi.org/10.18653/v1/2023.emnlp-main.322>
6. Gao, L., Ma, X., Lin, J., Callan, J. (2023). Precise Zero-Shot Dense Retrieval without Relevance Labels. Proceedings of the 61st Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers). <https://doi.org/10.18653/v1/2023.acl-long.99>
 7. Chen, T., Wang, H., Chen, S., Yu, W., Ma, K., Zhao, X. et al. (2024). Dense X Retrieval: What Retrieval Granularity Should We Use? Proceedings of the 2024 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, 15159–15177. <https://doi.org/10.18653/v1/2024.emnlp-main.845>
 8. Jiang, Z., Xu, F., Gao, L., Sun, Z., Liu, Q., Dwivedi-Yu, J. et al. (2023). Active Retrieval Augmented Generation. Proceedings of the 2023 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. <https://doi.org/10.18653/v1/2023.emnlp-main.495>
 9. Procko, T. T., Ochoa, O. (2024). Graph Retrieval-Augmented Generation for Large Language Models: A Survey. 2024 Conference on AI, Science, Engineering, and Technology (AIXSET), 166–169. <https://doi.org/10.1109/aixset62544.2024.00030>
 10. Kalinowski, A., An, Y. (2021). Exploring Sentence Embedding Structures for Semantic Relation Extraction. 2021 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), 1–7. <https://doi.org/10.1109/ijcnn52387.2021.9534215>
 11. Gao, T., Yao, X., Chen, D. (2021). SimCSE: Simple Contrastive Learning of Sentence Embeddings. Proceedings of the 2021 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. <https://doi.org/10.18653/v1/2021.emnlp-main.552>
 12. Limkonchotiawat, P., Ponwitayarat, W., Lowphansirikul, L., Udomcharoenchaikit, C., Chuangsuwanich, E., Nutanong, S. (2023). An Efficient Self-Supervised Cross-View Training For Sentence Embedding. Transactions of the Association for Computational Linguistics, 11, 1572–1587. https://doi.org/10.1162/tacl_a_00620
 13. Miao, Z., Wu, Q., Zhao, K., Wu, Z., Tsuruoka, Y. (2024). Enhancing Cross-lingual Sentence Embedding for Low-resource Languages with Word Alignment. Findings of the Association for Computational Linguistics: NAACL 2024, 3225–3236. <https://doi.org/10.18653/v1/2024.findings-naacl.204>
 14. Kshirsagar, A. (2024). Enhancing RAG Performance Through Chunking and Text Splitting Techniques. International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology, 10 (5), 151–158. <https://doi.org/10.32628/cseit2410593>
 15. Semchunk. Available at: <https://github.com/isaacus-dev/semchunk>
 16. Vector embeddings. Available at: <https://platform.openai.com/docs/guides/embeddings>
 17. Kamradt, G. 5 Levels of text splitting. Available at: https://github.com/FullStackRetrieval-com/RetrievalTutorials/blob/main/tutorials/LevelsOfTextSplitting/5_Levels_Of_Text_Splitting.ipynb
 18. Smith, B., Troynikov, A. (2024). Evaluating Chunking Strategies for Retrieval. Chroma Technical Report. Available at: <https://research.trychroma.com/evaluating-chunking>
 19. Research Chunking Strategies. Available at: <https://github.com/nes-byte/ResearchChunkingStrategies/blob/main/main.ipynb>
 20. Corpora. Available at: https://github.com/brandonstarxel/chunking_evaluation/tree/main/chunking_evaluation/evaluation_framework/general_evaluation_data/corpora
 21. Questions. Available at: https://github.com/brandonstarxel/chunking_evaluation/blob/main/chunking_evaluation/evaluation_framework/general_evaluation_data/questions_df.csv
 22. all-MiniLM-L6-v2. Available at: <https://huggingface.co/sentence-transformers/all-MiniLM-L6-v2>
 23. MiniLM-L6-H384-uncased. Available at: <https://huggingface.co/nreimers/MiniLM-L6-H384-uncased>
 24. Berrier, J. (2021). Move along. Dynamic-Size Sliding Window Pattern/Technique. Available at: <https://jamie-berrier.medium.com/move-along-c09d59bea473>
 25. Cosine similarity. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Cosine_similarity
 26. Horchunk. Available at: <https://github.com/panalexu/horchunk.git>
 27. Binary search. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Binary_search
 28. Recursive character text splitter. Langchain documentation. Available at: https://api.python.langchain.com/en/latest/character/langchain_text_splitters.character.RecursiveCharacterTextSplitter.html
 29. Token text splitter. Langchain documentation. Available at: https://python.langchain.com/api_reference/text_splitters/base/langchain_text_splitters.base.TokenTextSplitter.html

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.315834

DEVELOPMENT OF A HYBRID CNN-RNN MODEL FOR ENHANCED RECOGNITION OF DYNAMIC GESTURES IN KAZAKH SIGN LANGUAGE (p. 58–67)

Aigerim Aitim

International Information Technology University, Almaty,
Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2982-214X>

Dariga Sattarkhuzhayeva

International Information Technology University, Almaty,
Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-7589-2650>

Aisulu Khairullayeva

International Information Technology University, Almaty,
Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4090-2581>

With around 1 % of the population of the Republic of Kazakhstan being affected by hearing disabilities, Kazakh Sign Language holds great importance as a means of communication between citizens of the state. The limitations of tools for Kazakh Sign Language (KSL) create significant challenges for people with hearing impairments in education, employment, and daily interactions. This research addresses these challenges through the development of an automated recognition system for Kazakh Sign Language gestures, aiming to enhance accessibility and inclusivity of communication using artificial intelligence. The approach employs advanced machine learning techniques, including Convolutional Neural Networks (CNNs) for recognizing spatial gesture patterns and Recurrent Neural Networks (RNNs) for processing temporal sequences. By combining these methods, the system recognizes both hand gestures and facial expressions, providing a dual-stream model that surpasses single-stream gesture recognition systems focused solely on hand movements. A dedicated dataset was created using Mediapipe Holistic, an open-source tool that identifies 543 landmarks across hands, faces, and poses, effectively capturing the multifaceted nature of sign language. The findings showed that the hybrid model significantly outperformed standalone CNN and RNN models, achieving up to 96 % accuracy. This demonstrates that integrating facial expressions with hand gestures

greatly enhances the precision of sign language recognition. This system holds immense potential to improve inclusivity and accessibility in various settings across the Republic of Kazakhstan by facilitating communication for hearing-impaired individuals, paving the way for expanded research and application in other sign languages.

Keywords: dynamic gesture recognition, hybrid neural network, Kazakh Sign Language, facial expressions.

References

1. In Almaty, more than 10,000 people live with hearing disabilities (2022). *Vecher.kz*. Available at: <https://vecher.kz/ru/article/v-almaty-projivaiut-bolee-10-tysiach-liudei-imeiusih-invalidnost-po-sluhu.html>
2. People with hearing disabilities find it difficult to obtain a profession (2024). *24KZ*. Available at: <https://24.kz/ru/news/social/item/675566-lyudyam-s-invalidnostyu-po-slukhu-slozhno-poluchit-professiyu>
3. On the demographic situation for January-September 2024 (2024). Statistical Committee of the Ministry of National Economy of the Republic of Kazakhstan. Available at: <https://stat.gov.kz/ru/news/o-demograficheskoy-situatsii-za-yanvar-sentyabr-2024-goda/>
4. Ibadullaeva, A. (2023). Guides from the World of Silence: How Sign Language Interpreters Work in Kazakhstan. *Liter.kz*. Available at: <https://liter.kz/provodniki-iz-mira-tishiny-kak-rabotaiut-surdo-perevodchiki-v-kazakhstane-1676962474/>
5. Cheh, E. (2024). Acute shortage of hearing impairment educators in East Kazakhstan. *Ustinka LIVE*. Available at: <https://ustinka.kz/vko/97381.html>
6. Bora, J., Dehingia, S., Boruah, A., Chetia, A. A., Gogoi, D. (2023). Real-time Assamese Sign Language Recognition using MediaPipe and Deep Learning. *Procedia Computer Science*, 218, 1384–1393. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.01.117>
7. Salau, A. O., Tamiru, N. K., Abeje, B. T. (2024). Derived Amharic alphabet sign language recognition using machine learning methods. *Heliyon*, 10 (19), e38265. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38265>
8. Katoch, S., Singh, V., Tiwary, U. S. (2022). Indian Sign Language recognition system using SURF with SVM and CNN. *Array*, 14, 100141. <https://doi.org/10.1016/j.array.2022.100141>
9. Singh, D. K. (2021). 3D-CNN based Dynamic Gesture Recognition for Indian Sign Language Modeling. *Procedia Computer Science*, 189, 76–83. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.05.071>
10. Ibrahim, N. B., Selim, M. M., Zayed, H. H. (2018). An Automatic Arabic Sign Language Recognition System (ArSLRS). *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 30 (4), 470–477. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2017.09.007>
11. Indra, D., Purnawansyah, Madenda, S., Wibowo, E. P. (2019). Indonesian Sign Language Recognition Based on Shape of Hand Gesture. *Procedia Computer Science*, 161, 74–81. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.11.101>
12. MediaPipe Holistic – Simultaneous Face, Hand and Pose Prediction, on Device (2020). Google Research Blog. Available at: <https://research.google/blog/mediapipe-holistic-simultaneous-face-hand-and-pose-prediction-on-device/>
13. Chansri, C., Srinonchat, J. (2016). Hand Gesture Recognition for Thai Sign Language in Complex Background Using Fusion of Depth and Color Video. *Procedia Computer Science*, 86, 257–260. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.05.113>
14. Shin, J., Miah, A. S. M., Konnai, S., Takahashi, I., Hirooka, K. (2024). Hand gesture recognition using sEMG signals with a multi-stream time-varying feature enhancement approach. *Scientific Reports*, 14 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-72996-7>
15. Papadimitriou, K., Sapountzaki, G., Vasilaki, K., Efthimiou, E., Fotinea, S.-E., Potamianos, G. (2024). A large corpus for the recognition of Greek Sign Language gestures. *Computer Vision and Image Understanding*, 249, 104212. <https://doi.org/10.1016/j.cviu.2024.104212>
16. Shin, J., Hasan, Md. A. M., Miah, A. S. M., Suzuki, K., Hirooka, K. (2024). Japanese Sign Language Recognition by Combining Joint Skeleton-Based Handcrafted and Pixel-Based Deep Learning Features with Machine Learning Classification. *Computer Modeling in Engineering & Sciences*, 139 (3), 2605–2625. <https://doi.org/10.32604/cmcs.2023.046334>
17. Aitim, A., Satybaldiyeva, R. (2025). A comparison of Kazakh language processing models for improving semantic search results. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (2 (133)), 66–75. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.315954>
18. Kenshimov, C., Buribayev, Z., Amirgaliyev, Y., Ataniyazova, A., Aitimov, A. (2021). Sign language dactyl recognition based on machine learning algorithms. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (2 (112)), 58–72. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239253>
19. Amirgaliyev, Y., Ataniyazova, A., Buribayev, Z., Zhassuzak, M., Urmashev, B., Cherikbayeva, L. (2024). Application of neural networks ensemble method for the Kazakh sign language recognition. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 13 (5), 3275–3287. <https://doi.org/10.11591/eei.v13i5.7803>
20. Dey, A., Biswas, S., Le, D.-N. (2024). Recognition of Wh-Question Sign Gestures in Video Streams using an Attention Driven C3D-BiLSTM Network. *Procedia Computer Science*, 235, 2920–2931. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.04.276>
21. Satybaldiyeva, R., Uskenbayeva, R., Moldagulova, A., Kalpeyeva, Z., Aitim, A. (2019). Features of Administrative and Management Processes Modeling. *Optimization of Complex Systems: Theory, Models, Algorithms and Applications*, 842–849. https://doi.org/10.1007/978-3-030-21803-4_84
22. Athira, P. K., Sruthi, C. J., Lijiya, A. (2022). A Signer Independent Sign Language Recognition with Co-articulation Elimination from Live Videos: An Indian Scenario. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 34 (3), 771–781. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2019.05.002>
23. Rao, G. A., Kishore, P. V. V. (2018). Selfie video based continuous Indian sign language recognition system. *Ain Shams Engineering Journal*, 9 (4), 1929–1939. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2016.10.013>
24. Aitim, A. K., Satybaldiyeva, R. Zh., Wojcik, W. (2020). The construction of the Kazakh language thesauri in automatic word processing system. *Proceedings of the 6th International Conference on Engineering & MIS 2020*, 1–4. <https://doi.org/10.1145/3410352.3410789>
25. Nuralin, M., Daineko, Y., Aljawarneh, S., Tsoy, D., Ipalakova, M. (2024). The real-time hand and object recognition for virtual interaction. *PeerJ Computer Science*, 10, e2110. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.2110>
26. Kolesnikova, K., Mezentseva, O., Savielieva, O. (2019). Modeling of Decision Making Strategies In Management of Steelmaking Processes. *2019 IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*, 455–460. <https://doi.org/10.1109/atit49449.2019.9030524>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.325932

CACHE INVALIDATION BASED ON A DECLARATIVE APPROACH FOR SEPARATING BUSINESS LOGIC OF MICROSERVICES FROM CACHE UPDATE RULES (p. 68–74)**Vitalii Falkevych**Zaporizhzhia National University, Zaporizhzhia, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1114-7206>**Andrii Lisniak**Zaporizhzhia National University, Zaporizhzhia, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9669-7858>

The object of this study is the mechanisms of cache invalidation within a microservice architecture. The research addresses the challenge of reducing inter-service dependences, enhancing system performance, and ensuring data consistency in distributed high-load environments by optimizing cache management strategies. The study's findings include the development of a declarative approach to cache invalidation, which ensures the decoupling of microservice business logic from cache update mechanisms. The proposed solution is based on a centralized cache management strategy utilizing YAML configurations in conjunction with asynchronous message exchange between services.

Optimization of the mechanisms for adding, updating, and deleting cache elements enables efficient management of cached data, warranting the avoidance of residual entries after deletion, updating all lists in which the element appeared, as well as maintaining cache consistency when updating or deleting data.

The proposed approach contributes to increasing the autonomy of microservices, reducing inter-service dependences, and more efficient use of the cache. The features and distinctive characteristics of the results relate to the fact that the proposed approach uses a declarative cache management model, which differs from conventional imperative solutions. This enables flexibility in configuring cache update mechanisms without the need to modify the business logic of microservices.

The practical implications of the study extend to high-load distributed systems where rapid data retrieval, scalability, and resilience to varying workloads are critical. The proposed approach could be applied in the design of effective caching strategies within microservice-based architectures.

Keywords: cache invalidation, Redis, Memcached, declarative approach, cache management, performance optimization.

References

1. Falkevych, V., Lisniak, A. (2024). Client state management using backend for frontend pattern architecture in B2B segment. *Artificial Intelligence*, 29 (2), 49–60. <https://doi.org/10.15407/jai2024.02.049>
2. Falkevych, V. G., Lisniak, A. O. (2023). Methodology of cache invalidation in microservices architecture of the web applications. *Scientific Notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences*, 1, 131–135. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.1/20>
3. Faridi, M. T., Singh, K., Soni, K., Negi, S. (2023). Memcached vs Redis Caching Optimization Comparison using Machine Learning. 2023 2nd International Conference on Automation, Computing and Renewable Systems (ICACRS), 1153–1159. <https://doi.org/10.1109/icacrs58579.2023.10404339>
4. Carra, D., Michiardi, P. (2014). Memory partitioning in Memcached: An experimental performance analysis. 2014 IEEE International Conference on Communications (ICC), 1154–1159. <https://doi.org/10.1109/icc.2014.6883477>

5. Zhang, H., Kallas, K., Pavlatos, S., Alur, R., Angel, S., Liu, V. (2024). MuCache: A General Framework for Caching in Microservice Graphs. *Proceedings of the 21st USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI 24)*, 221–238. Available at: <https://www.usenix.org/system/files/nsdi24-zhang-haoran.pdf>
6. Chen, S., Tang, X., Wang, H., Zhao, H., Guo, M. (2016). Towards Scalable and Reliable In-Memory Storage System: A Case Study with Redis. 2016 IEEE Trustcom/BigDataSE/ISPA. <https://doi.org/10.1109/trustcom.2016.0255>
7. Liu, Q. (2019). A High Performance Memory Key-Value Database Based on Redis. *Journal of Computers*, 14 (3), 170–183. <https://doi.org/10.17706/jcp.14.3.170-183>
8. Fukuda, E. S., Inoue, H., Takenaka, T., Dahoo Kim, Sadahisa, T., Asai, T., Motomura, M. (2014). Caching memcached at reconfigurable network interface. 2014 24th International Conference on Field Programmable Logic and Applications (FPL), 1–6. <https://doi.org/10.1109/fpl.2014.6927487>
9. Ji, Z., Ganchev, I., O'Droma, M., Ding, T. (2014). A Distributed Redis Framework for Use in the UCWW. 2014 International Conference on Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery, 241–244. <https://doi.org/10.1109/cyberc.2014.50>
10. Yang, J., Yue, Y., Vinayak, R. (2021). Segcache: a memory-efficient and scalable in-memory key-value cache for small objects. 18th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI 21), 503–518. Available at: <https://www.usenix.org/conference/nsdi21/presentation/yang-juncheng>
11. Rahul, Singh, K., Vrinda, Dipanshu (2024). Review Paper on Machine Learning Based Memcached Cluster Auto Scaling. *Emerging Trends in IoT and Computing Technologies*, 330–337. <https://doi.org/10.1201/9781003535423-55>
12. Almeida, D., Lopes, M., Saraiva, L., Abbasi, M., Martins, P., Silva, J., Váz, P. (2023). Performance Comparison of Redis, Memcached, MySQL, and PostgreSQL: A Study on Key-Value and Relational Databases. 2023 Second International Conference On Smart Technologies For Smart Nation (SmartTechCon), 902–907. <https://doi.org/10.1109/smarttechcon57526.2023.10391649>
13. Chopade, R., Pachghare, V. (2021). A data recovery technique for Redis using internal dictionary structure. *Forensic Science International: Digital Investigation*, 38, 301218. <https://doi.org/10.1016/j.fsidi.2021.301218>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.325251

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A LARGE LANGUAGE MODEL-BASED TOOL FOR VULNERABILITY DETECTION (p. 75–83)**Anastasiia Zhuravchak**Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8196-7963>**Andrian Piskozub**Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3582-2835>**Bohdan Skorynovych**Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8669-9172>**Yuriy Lakh**University of the State Fiscal Service of Ukraine,
Irpın, Kyiv region, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4153-8125>

Danyil Zhuravchak

Ivan Franko National University of Lviv,
Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4989-0203>

Pavlo Hlushchenko

Lviv Polytechnic National University,
Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1262-5484>

Petro Venherskyi

Ivan Franko National University of Lviv,
Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9808-7404>

Igor Beliaiev

Ivan Franko National University of Lviv,
Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8130-7972>

Maksym Vorokhob

Borys Grinchenko Kyiv Metropolitan University,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5160-7134>

Ivan Kolbasynskyi

Uzhhorod National University,
Uzhhorod, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0755-1039>

The subject of this study is a tool for automating vulnerability detection using large language models, developed to reduce the time spent on conventional penetration testing. In addition, a detailed analysis has been conducted comparing the effectiveness of the automated approach with that of conventional manual security testing. The tool utilizes application programming interface access to LLMs, enabling the analysis of large volumes of data, the identification of complex relationships between system components, and the provision of interactive support to specialists during the testing process. By conducting experiments under actual conditions, the tool demonstrated the ability to integrate with popular penetration test tools and deal with real cyber threats, particularly in scenarios involving active attacks on networks and web applications. By automating routine tasks, such as configuration checks, analysis of tool outputs, and generating recommendations, the tool significantly reduces the workload on specialists. On average, the tool shortened the testing time by 54.4 % compared to a manual approach. Recall reached 94.7 % in network analysis scenarios but dropped to 66.7 % in web application testing, while the automated approach's precision ranged from 80 % to 90 %. The study results confirmed that the application of large language models in the penetration testing process significantly reduces the time required to complete tasks and improves the accuracy of vulnerability detection. The tool could be used both independently and in combination with other automation tools, making it a versatile solution for organizations of various sizes. Thus, the proposed solution is a substantial contribution to the development of modern cybersecurity technologies and demonstrates the prospects of integrating artificial intelligence into automation processes.

Keywords: large language models, vulnerability detection automation, artificial intelligence, multi-vector testing.

References

1. Tolkachova, A., Piskozub, A. (2024). Methods for testing the security of web applications. *Electronic Professional Scientific Journal «Cybersecurity: Education, Science, Technique»*, 2 (26), 115–122. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2024.26.668>
2. Li, Z., Dutta, S., Naik, M. (2024). LLM-assisted static analysis for detecting security vulnerabilities. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2405.17238>
3. Saini, J., Bansal, A. (2024). Automated penetration testing: machine learning approach. *CEUR Workshop Proceedings*. Available at: <https://ceur-ws.org/Vol-3682/Paper10.pdf>
4. Omar, M. (2023). Detecting software vulnerabilities using language models. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2302.11773>
5. Purba, M. D., Ghosh, A., Radford, B. J., Chu, B. (2023). Software Vulnerability Detection using Large Language Models. *2023 IEEE 34th International Symposium on Software Reliability Engineering Workshops (ISSREW)*, 112–119. <https://doi.org/10.1109/issrew60843.2023.00058>
6. Sultana, S., Afreen, S., Eisty, N. U. (2024). Code vulnerability detection: A comparative analysis of emerging large language models. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2409.10490>
7. Goyal, D., Subramanian, S., Peela, A. (2024). Hacking, the lazy way: LLM augmented pentesting. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2409.09493>
8. Pratama, D., Suryanto, N., Adiputra, A. A., Le, T.-T.-H., Kadiptya, A. Y., Iqbal, M., Kim, H. (2024). CIPHER: Cybersecurity Intelligent Penetration-Testing Helper for Ethical Researcher. *Sensors*, 24 (21), 6878. <https://doi.org/10.3390/s24216878>
9. Aloraini, B., Nagappan, M., German, D. M., Hayashi, S., Higo, Y. (2019). An empirical study of security warnings from static application security testing tools. *Journal of Systems and Software*, 158, 110427. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2019.110427>
10. Singh, R., Kumar Gupta, M., Patil, D. R., Maruti Patil, S. (2024). Analysis of Web Application Vulnerabilities using Dynamic Application Security Testing. *2024 IEEE 9th International Conference for Convergence in Technology (I2CT)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/i2ct61223.2024.10543484>
11. Malliserry, S., Wu, Y.-S. (2023). Demystify the Fuzzing Methods: A Comprehensive Survey. *ACM Computing Surveys*, 56 (3), 1–38. <https://doi.org/10.1145/3623375>
12. Khaliq, S., Abideen Tariq, Z. U., Masood, A. (2020). Role of User and Entity Behavior Analytics in Detecting Insider Attacks. *2020 International Conference on Cyber Warfare and Security (ICWS)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/icws48432.2020.9292394>
13. Mohammed, F., Rahman, N. A. A., Yusof, Y., Juremi, J. (2022). Automated Nmap Toolkit. *2022 International Conference on Advances in Smart, Secure and Intelligent Computing (ASSIC)*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/assic55218.2022.10088375>
14. Choudhary, R., Rawat, J., Singh, G. (2023). Comprehensive Exploration of Web Application Security Testing with Burp Suite Tools. *International Journal For Multidisciplinary Research*, 5 (6). <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2023.v05i06.11297>
15. Narayana Rao, T. V., Shravan, V. (2019). Metasploit Unleashed Tool for Penetration Testing. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 7 (4), 16–20. <https://doi.org/10.17762/ijritcc.v7i4.5285>
16. Suga, Y. (2014). Visualization of SSL Setting Status Such as the FQDN Mismatch. *2014 Eighth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing*, 588–593. <https://doi.org/10.1109/imis.2014.88>
17. Bhoir, H., Jayamalini, K. (2021). Web Crawling on News Web Page using Different Frameworks. *International Journal of Scientific Re-*

search in Science and Technology, 513–519. Internet Archive. <https://doi.org/10.32628/cseit2174120>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.324957

DEVISING AN APPROACH TO PREVENTING INFORMATION CHAOS IN CHAT BOTS USING GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE (p. 84–95)

Oliha Kryazhych

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

Ivan Ivanov

Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8622-7765>

Kateryna Iushchenko

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

Oleksii Kuprin

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

Oleksandr Vasenko

Hryhorii Skovoroda University in Pereiaslav, Pereiaslav, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8895-4284>

Viacheslav Riznyk

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

Oleksandr Ryzhkov

Hryhorii Skovoroda University in Pereiaslav, Pereiaslav, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0535-7722>

The object of this study is the linguistic constructions of queries to chatbots with Large Language Models (LLMs). The area of research is the emergence of information chaos during communication between the user and the chatbot, which leads to errors in forming a response to the query. It is assumed that the user and the chatbot are separate complex systems, the events and actions of which are difficult to predict for a long period. Behavior models of complex systems are subject to the influence of chaos theory. To demonstrate this, the work used one of the simple mathematical problems with a logical component. The Copilot and ChatGPT 4o mini chatbots that were studied gave erroneous results in response to a query for the task. The error occurred when generating a query due to the introduction of a logical component. A similar process was represented by a system of differential equations solving which establishes clear rules for obtaining an accurate answer to the query.

To submit a request from the user, an approach has been proposed that makes it possible to break down the information block of the request by constructing piecewise linear attractors. That is, paired semantic expressions are formed with the formation of a request cleared of information noise. The problem is solved by presenting a methodology for controlling the selection of substitute words, based on the operations of generating the next substitution and calculating the number of the given substitution.

According to the devised approach, the best options for a request to the Copilot chatbot were obtained in 182 characters or 48 words, numbers, and special characters. For the ChatGPT 4o mini chatbot, such a request consisted of 219 characters.

The proposal could be used in practical activities to improve chatbot technologies and form key data sets in artificial intelligence systems, which would further make it possible to avoid errors when solving problems with a logical component.

Keywords: Large Language Model, LLM, Copilot, ChatGPT, cyclic class element, attractor.

References

1. Errichiello, O., Wernke, M. (2022). Order in Chaos - Cybernetics of Brand Management. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-65958-8>
2. Cappa, F., Oriani, R., Peruffo, E., McCarthy, I. (2020). Big Data for Creating and Capturing Value in the Digitalized Environment: Unpacking the Effects of Volume, Variety, and Veracity on Firm Performance. *Journal of Product Innovation Management*, 38 (1), 49–67. <https://doi.org/10.1111/jpim.12545>
3. Saadia, D. (2021). Integration of Cloud Computing, Big Data, Artificial Intelligence, and Internet of Things. *International Journal of Web-Based Learning and Teaching Technologies*, 16 (1), 10–17. <https://doi.org/10.4018/ijwltt.2021010102>
4. Junaid, M., Ali, S., Siddiqui, I. F., Nam, C., Qureshi, N. M. F., Kim, J., Shin, D. R. (2022). Performance Evaluation of Data-driven Intelligent Algorithms for Big data Ecosystem. *Wireless Personal Communications*, 126 (3), 2403–2423. <https://doi.org/10.1007/s11277-021-09362-7>
5. Fuchs, A. (2013). *Nonlinear Dynamics in Complex Systems*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-33552-5>
6. Kryazhych, O., Vasenko, O., Isak, L., Havrylov, I., Gren, Y. (2024). Construction of a model for matching user's linguistic structures to a chat-bot language model. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (2 (129)), 34–41. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.304048>
7. Gravett, W. (2021). Sentenced by an algorithm – Bias and lack of accuracy in risk-assessment software in the United States criminal justice system. *South African Journal of Criminal Justice*, 34 (1), 31–54. <https://doi.org/10.47348/sacj/v34/i1a2>
8. Taghia, J. (2024). Exploring the Synergy of Chaos Theory and AI: Predictive Modeling and Understanding of Complex Systems Through Machine Learning and Deep Neural Networks Review. *COJ Robotics & Artificial Intelligence*, 3 (4). Available at: <https://crimsonpublishers.com/cojra/fulltext/COJRA.000566.php>
9. Elabid, Z., Chakraborty, T., Hadid, A. (2022). Knowledge-based Deep Learning for Modeling Chaotic Systems. 2022 21st IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA), 1203–1209. <https://doi.org/10.1109/icmla55696.2022.00194>
10. Wang, H., Fu, T., Du, Y., Gao, W., Huang, K., Liu, Z. et al. (2023). Scientific discovery in the age of artificial intelligence. *Nature*, 620 (7972), 47–60. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06221-2>
11. Demsky, D., Yang, D., Yeager, D. S., Bryan, C. J., Clapper, M., Chandhok, S. et al. (2023). Using large language models in psychology. *Nature Reviews Psychology*. <https://doi.org/10.1038/s44159-023-00241-5>
12. Mirzadeh, I., Alizadeh, K., Shahrokhi, H., Tuzel, O., Bengio, S., Farajtabar, M. (2024). GSM-Symbolic: Understanding the Limitations of Mathematical Reasoning in Large Language Models. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2410.05229>

13. Zhao, W., Zhou, K., Junyi, L., Tianyi, T., Wang, X., Hou, Y. et al. (2023). A Survey of Large Language Models. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2303.18223>
14. Ai, J., Cai, Y., Su, Z., Zhang, K., Peng, D., Chen, Q. (2022). Predicting user-item links in recommender systems based on similarity-network resource allocation. *Chaos, Solitons & Fractals*, 158, 112032. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2022.112032>
15. Du, F., Ma, X.-J., Yang, J.-R., Liu, Y., Luo, C.-R., Wang, X.-B. et al. (2024). A Survey of LLM Datasets: From Autoregressive Model to AI Chatbot. *Journal of Computer Science and Technology*, 39 (3), 542–566. <https://doi.org/10.1007/s11390-024-3767-3>
16. Matsumoto, N., Moran, J., Choi, H., Hernandez, M. E., Venkatesan, M., Wang, P., Moore, J. H. (2024). KRAGEN: a knowledge graph-enhanced RAG framework for biomedical problem solving using large language models. *Bioinformatics*, 40 (6). <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btae353>
17. Zhang, Y., Zhang, C. (2024). Extracting problem and method sentence from scientific papers: a context-enhanced transformer using formulaic expression desensitization. *Scientometrics*, 129 (6), 3433–3468. <https://doi.org/10.1007/s11192-024-05048-6>
18. Shen, B.-W., Pielke, R. A., Zeng, X., Baik, J.-J., Faghih-Naini, S., Cui, J. et al. (2021). Is Weather Chaotic? Coexisting Chaotic and Non-chaotic Attractors Within Lorenz Models. 13th Chaotic Modeling and Simulation International Conference, 805–825. https://doi.org/10.1007/978-3-030-70795-8_57
19. Martinez-Arango, H., García-Pérez, B. E., Vidales-Hurtado, M. A., Trejo-Valdez, M., Hernández-Gómez, L. H., Torres-Torres, C. (2019). Chaotic Signatures Exhibited by Plasmonic Effects in Au Nanoparticles with Cells. *Sensors*, 19 (21), 4728. <https://doi.org/10.3390/s19214728>
20. Stankevich, N. V., Kuznetsov, N. V., Leonov, G. A., Chua, L. O. (2017). Scenario of the Birth of Hidden Attractors in the Chua Circuit. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 27 (12), 1730038. <https://doi.org/10.1142/s0218127417300385>
21. Voronka, H. V. (2014). Informatsiyni shum u dovidkovykh vydanniakh. *Obriyi drukarstva*, 1, 89–95. Available at: <https://horizons.vpi.kpi.ua/article/view/95451>
22. Anh, L. Q. (2021). Various Types of Well-Posedness for Vector Equilibrium Problems with Respect to the Lexicographic Order. *Vietnam Journal of Mathematics*, 51 (2), 397–414. <https://doi.org/10.1007/s10013-021-00530-7>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.326779

FORECASTING ANOMALIES IN NETWORK TRAFFIC (p. 96–111)

Inkar Zhumay

Non-Profit Joint Stock Company "Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev", Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2009-3083>

Kymysay Tumanbayeva

Non-Profit Joint Stock Company "Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev", Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6608-9368>

Katipa Chezhibayeva

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

Kalibek Kuat

Non-Profit Joint Stock Company "Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev", Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2009-7211>

The increasing volume of traffic, growing number of connections in telecommunication networks, and rising number of mobile devices place significant demands on network providers. These challenges can lead to congestion, latency issues, and security vulnerabilities. However, they can be mitigated or even prevented by identifying network failures in advance. Anomaly detection plays a crucial role in proactively addressing these issues, enabling network operators to optimize network performance, enhance security, and improve the overall user experience.

In this paper, a method for predicting anomalies based on machine learning has been implemented. The LSTM-SMOTE model, which was trained and tested on the KDD-NLS dataset, was considered and the results of the forecasting model were analyzed. Developing the multi-classification model proved to be a challenging task, primarily due to the limited number of attack types. SMOTE is designed to address such difficulties. Imbalanced datasets present a major challenge in predictive modeling, especially when solving classification problems. The four main types of attacks include Denial of service (DoS) attacks, Probe attacks, Privilege attacks, and Access attacks. In this work, three neural network models were developed, including: binary classification, four-class classification, multi-class classification. It is observed that the prediction model retrained again showed the best results, then the model trained with new anomalous data. The LSTM-SMOTE multiclass model achieved the highest performance, with its predictive accuracy rising from 75 % to 99 % across iterations, underscoring its strong dependence on the quality and quantity of data. Practical application of the results obtained can be applied for optimizing network performance.

Keywords: Network anomaly, telecommunication traffic, network traffic prediction, long short-term memory (LSTM), semi-supervised learning.

References

1. Cheng, Y., Liu, Q., Wang, J., Wan, S., Umer, T. (2018). Distributed Fault Detection for Wireless Sensor Networks Based on Support Vector Regression. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2018 (1). <https://doi.org/10.1155/2018/4349795>
2. Muriira, L. M., Zhao, Z., Min, G. (2018). Exploiting Linear Support Vector Machine for Correlation-Based High Dimensional Data Classification in Wireless Sensor Networks. *Sensors*, 18 (9), 2840. <https://doi.org/10.3390/s18092840>
3. Latif, Z., Umer, Q., Lee, C., Sharif, K., Li, F., Biswas, S. (2022). A Machine Learning-Based Anomaly Prediction Service for Software-Defined Networks. *Sensors*, 22 (21), 8434. <https://doi.org/10.3390/s22218434>
4. Song, W., Beshley, M., Przystupa, K., Beshley, H., Kochan, O., Pryslypskiy, A. et al. (2020). A Software Deep Packet Inspection System for Network Traffic Analysis and Anomaly Detection. *Sensors*, 20 (6), 1637. <https://doi.org/10.3390/s20061637>
5. Oliveira, T. P., Barbar, J. S., Soares, A. S. (2016). Computer network traffic prediction: a comparison between traditional and deep learning neural networks. *International Journal of Big Data Intelligence*, 3 (1), 28. <https://doi.org/10.1504/ijbdi.2016.073903>

6. Alkasassbeh, M. (2018). A Novel Hybrid Method for Network Anomaly Detection Based on Traffic Prediction and Change Point Detection. *Journal of Computer Science*, 14 (2), 153–162. <https://doi.org/10.3844/jcssp.2018.153.162>
7. Khan, I. A., Pi, D., Khan, Z. U., Hussain, Y., Nawaz, A. (2019). HML-IDS: A Hybrid-Multilevel Anomaly Prediction Approach for Intrusion Detection in SCADA Systems. *IEEE Access*, 7, 89507–89521. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2925838>
8. Bhatia, R., Benno, S., Esteban, J., Lakshman, T. V., Grogan, J. (2019). Unsupervised machine learning for network-centric anomaly detection in IoT. *Proceedings of the 3rd ACM CoNEXT Workshop on Big Data, Machine Learning and Artificial Intelligence for Data Communication Networks*, 42–48. <https://doi.org/10.1145/3359992.3366641>
9. Nurzhaubayeva, G., Haris, N., Chezhimbayeva, K. (2024). Design of the Wearable Microstrip Yagi-Uda Antenna for IoT Applications. *International Journal on Communications Antenna and Propagation (IRECAP)*, 14 (1), 24. <https://doi.org/10.15866/irecap.v14i1.24315>
10. Chezhimbayeva, K., Konyrova, M., Kumyrbayeva, S., Kadylbekkyzy, E. (2021). Quality assessment of the contact center while implementation the IP IVR system by using teletraffic theory. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (3 (114)), 64–71. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.244976>
11. Mukhamejanova, A. D., Grabs, E. A., Tumanbayeva, K. K., Lechshinskaya, E. M. (2022). Traffic simulation in the LoRaWAN network. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 11 (2), 1117–1125. <https://doi.org/10.11591/eei.v11i2.3484>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.321966

ДОМІНУЮЧЕ ВИЯВЛЕННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ КАТАСТРОФ У ПРИБЕРЕЖНИХ РАЙОНАХ З ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМИ НЕЙРОМЕРЕЖІ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ КАТАСТРОФАМИ В ПРИБЕРЕЖНИХ РАЙОНАХ (с. 6–16)

Tengku Henny Febriana harumy, Dewi Sartika Boru Ginting, Fuzy Yustika Manik, Mesra Betty Yel

Об'єктом дослідження є виявлення та прогнозування домінантних катастроф у прибережних районах. Проблема, яку вирішують, полягає у відсутності точних і ефективних систем раннього попередження про ці катастрофи, які можуть призвести до значних збитків і економічних втрат. Щоб вирішити цю проблему, в цьому дослідженні розроблено інноваційну програму та веб-сайт, призначені для прогнозування найбільш домінуючих катастроф у прибережних районах. Ця система використовує обробку даних у режимі реального часу для надання ранніх попереджень та оцінки ризиків, допомагаючи громадам і групам реагування на надзвичайні ситуації підготуватися до потенційних загроз. Результати тестування показують, що 89 % передбачень системи є ефективними в боротьбі зі стихійними лихами. Методологія дослідження включає спостереження, збір даних, попередню обробку набору даних, аналіз і розробку системи інтелектуального виявлення з використанням методів картографування та кластеризації на основі геоінформаційної системи (GIS). Результати пояснюються за допомогою методу гібридної глибокої нейронної мережі, який аналізує різні фактори навколишнього середовища, включаючи температуру, швидкість вітру, висоту хвилі, погодні умови та коливання рівня моря. Додаткові функції, такі як щоденні прогнози погоди, покращують прогнозні можливості системи. Ця інтелектуальна система боротьби зі стихійними лихами на базі нейронної мережі забезпечує ефективне прогнозування та пом'якшення наслідків стихійних лих. Система призначена для застосування в прибережних районах з обмеженими технологіями, тим самим покращуючи готовність до катастроф. Крім того, програма дозволяє урядам більш ефективно відстежувати та реагувати на катастрофи. Завдяки інтеграції рішень на основі штучного інтелекту це дослідження робить значний внесок у боротьбу зі стихійними лихами, пропонуючи інноваційні стратегії для мінімізації ризиків і посилення зусиль реагування на надзвичайні ситуації.

Ключові слова: глибока нейронна мережа, прогнозування катастроф, прибережна зона, пом'якшення наслідків, розумна система виявлення, картографування геоінформаційної системи, система раннього попередження.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.325517

ВИЗНАЧЕННЯ ПІДХОДУ ДО РОЗПІЗНАВАННЯ РАЙДУЖНОЇ ОБОЛОНКИ ОКА У ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД УМОВ ЗЙОМКИ (с. 17–27)

О. Ю. Барковська, І. В. Рубан, Ю. О. Романенков, П. Д. Ботнар, А. О. Гавращенко

Об'єктом дослідження є методи обробки та аналізу зображень райдужної оболонки ока, які можуть бути імплементовані у системі взаємодії людини з машиною на основі біометричних даних або інших безконтактних способів взаємодії.

Забезпечення високої точності та надійності біометричних систем розпізнавання райдужної оболонки ока у варіативних умовах зйомки залишається відкритою науковою проблемою. Однією з основних труднощів є вплив змінного освітлення, нахилу голови та часткової відкритості ока на результати ідентифікації.

В дослідженні проведено оцінку впливу методів попередньої обробки зображень райдужної оболонки ока (Equalization Histogram, CLAHE) на якість розпізнавання, здійснено порівняння алгоритмічного методу (Hamming Distance) з нейромережевими моделями (CNN, DenseNet) за показниками точності, False Match Rate, False Non-Match Rate та Equal Error Rate. Додатково проведено аналіз впливу структури навчальних вибірок та гіперпараметрів нейромережі на ефективність класифікації.

Отримані результати показали, що при використанні Hamming Distance (HD=0.35) досягається точність 95.5 %, що є конкурентоспроможним результатом у порівнянні з нейромережами. Встановлено, що поєднання CLAHE та Equalization Histogram дозволяє зменшити вплив шумів та покращити точність сегментації. Визначено, що нейромережевий підхід (DenseNet 201) досягає точності 99.93 % при оптимальному розподілі датасету (70 %:15 %:15 %). Доведено, що використання попередньої нормалізації та адаптивного вирівнювання контрасту суттєво зменшує похибки розпізнавання при змінних умовах освітлення.

Запропоноване рішення має потенціал застосування у безконтактних системах керування, інклюзивних технологіях для людей із порушенням зору, автомобільній промисловості, а також у безпекових системах.

Ключові слова: розпізнавання райдужки, Hamming Distance, HMI-системи, DenseNet, CLAHE, Equalization Histogram.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.323176

РОЗРОБКА DENSENET З БЛОКОМ СТИСКАННЯ ТА ЗБУДЖЕННЯ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ХВОРОБ ТОМАТІВ (с. 28–38)

Pandi Barita Nauli Simangunsong, Poltak Sihombing, Syahril Effendi, Fahmi Fahmi

Це дослідження зосереджено на класифікації хвороб листя томатів за допомогою оптимізованої архітектури глибокого навчання. Це дослідження пропонує вдосконалену архітектуру під назвою DenseNet-SEGR, яка об'єднує новий блок стискання та збудження (C3) із

налаштованою швидкістю зростання 48 для покращення вибору функцій і точності класифікації. На відміну від стандартних методів, ця модель замінює глобальне усереднене об'єднання методом стиснення на основі інтеграла, що забезпечує більш безперервне та точне представлення ознак. Використання блоків СЗ динамічно перекалібрує важливість таких характеристик, як текстура, колір і візерунки тканин, тим самим підвищуючи чутливість до симптомів захворювання. Модель було навчено з використанням набору даних PlantVillage, який включає 12 246 зображень, що охоплюють 10 категорій хвороб листя томатів, таких як бактеріальна плямистість, ранній фітофтороз, фітофтороз, вірус мозаїки та здорове листя. Для посилення узагальнення та покращення стійкості до змін навколишнього середовища використовувалися різні методи збільшення, включаючи обертання, масштабування та налаштування контрасту. Крім того, пакетна нормалізація та адаптивне планування швидкості навчання були інтегровані для підвищення стабільності моделі та запобігання переобладнанню. В результаті архітектура DenseNet-SEGR здатна досягти точності класифікації 98,22 %, перевершуючи DenseNet-121, DenseNet-201 і MobileNetV2. Цей результат пояснюється інтеграцією адаптивних механізмів уваги, складними стратегіями збільшення даних і оптимізованою архітектурою. Результати можуть бути ефективно застосовані в реальному точному землеробстві, особливо в крайових або мобільних системах виявлення хвороб для раннього втручання та захисту врожаю.

Ключові слова: класифікація томатів, хвороба листя томатів, DenseNet-SEGR, стискання та збудження, швидкість росту, глибоке навчання.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.324680

РОЗРОБКА ПРОЦЕДУРИ ШВИДКОЇ МЕДІАННОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ДЛЯ ВИРІВНЮВАННЯ ШУМОВОЇ ПІДЛОЖКИ ЦИФРОВОГО КАДРУ (с. 39–46)

В. П. Власенко, С. В. Хламов, Ж. В. Дейнеко, І. В. Левикін, І. С. Табакова, О. І. Хорошевский, І. О. Хорошевская

Об'єктом дослідження є процес фільтрації астрономічних кадрів, які містять зображення об'єктів Сонячної системи. Для розпізнавання зображення об'єкта на контрасті з фоновою підкладкою кадру необхідно проводити фільтрацію зображення. Пропонується використовувати модифікацію медіанної фільтрації для зменшення динамічного діапазону фонової підкладки. Це призведе до підвищення відношення сигнал/шум всього зображення. Однак виявленим проблемним місцем кожного зображення під час фільтрації є спотворення структури та артефакти зображення. Тому для вирішення цієї проблеми було запропоновано процедуру швидкої медіанної фільтрації для їх усунення.

Запропоновано новий спосіб сортування яскравостей пікселів у вікні медіанного фільтра за допомогою гістограми. Для порівняння було обрано класичний медіанний фільтр з модифікацією, а саме з використанням швидкого сортування. Недоліком такої модифікації є той факт, що під час сортування щоразу використовуються всі пікселі, які потрапили до вікна медіанного фільтра. У той час як сортування за допомогою гістограми дозволяє додавати і прибирати в гістограмі тільки значення пікселів, які з'являються при зсуві вікна.

Розроблену процедуру швидкої медіанної фільтрації було апробовано на практиці в рамках проекту CoLiTec. Вона була запроваджена на етапі внутрішньокadroвої обробки програмного забезпечення Lemur.

Дослідження показало, що застосування процедури швидкої медіанної фільтрації дозволяє прибрати структурні спотворення та артефакти зображення, що призводить до збільшення відношення сигнал/шум у 3–5 разів. Також завдяки сортуванню за допомогою гістограми скоротилася кількість порівнянь у вікні медіанного фільтра у 4–30 разів залежно від розміру вікна. Як наслідок, це призвело до зменшення часу обчислень у 3–9 разів.

Ключові слова: швидка медіанна фільтрація, гістограма яскравості, сортування, спотворення структури, астрономічне зображення.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.326177

РОЗРОБКА СЕМАНТИЧНОГО МЕТОДА ПОДІЛУ ТЕКСТУ ДЛЯ RAG СИСТЕМ, З КЕРОВАНИМ ПОРОГОМ ТА РОЗМІРОМ КОВЗНОГО ВІКНА (с. 47–57))

О. М. Галчонков, О. О. Горчинський, С. Г. Антощук, В. Ю. Нарезной

Об'єктом дослідження є системи Retrieval-Augmented Generation (RAG), що використовуються для покращення якості відповідей великих мовних моделей (LLM). Проблема, що вирішується в роботі, полягає у підвищенні ефективності етапу семантичного поділу тексту в таких системах, що безпосередньо впливає на точність витягування релевантних фрагментів.

У роботі представлений метод семантичного поділу тексту для RAG-систем, заснований на техніці ковзного вікна з розміром, що динамічно змінюється. Розроблений метод використовує embedding-моделі та дозволяє враховувати семантичний контекст тексту. Додатково збільшити релевантність формування запитів до LLM дозволяє настроюване значення порога косинусної подібності, що використовується при семантичному розподілі. Розроблений алгоритм налаштування цього порогового значення дозволяє більш повно врахувати специфіку тематики запиту. У порівнянні з передовими методами семантичного поділу тексту розроблений метод дає наступний приріст залежно від параметра максимального розміру документа: IoU від 0.2 % до 2.8 %, точність від 0.4 % до 3.1 %, точність омега від 1.4 % до 14.8 %. Приріст передусім пов'язано з обробкою тексту на рівні семантично повних одиниць у вигляді речень, а не токенів. Крім того, техніка динамічного ковзного вікна дозволила ліпше адаптуватися до структури тексту. Отримані результати є валідними в межах використаного фреймворку оцінки, що охоплює різноманітні текстові датасети, і можуть бути застосовані на практиці при побудові RAG-систем у галузях з високими вимогами до збереження семантичної цілісності тексту, наприклад, у праві, науці чи техніці. Алгоритми, що реалізують запропонований метод, розміщені у GitHub як бібліотеки на Python.

Ключові слова: RAG, sliding-window, semantic, chunking, embeddings, binary search, evaluation, tuning, AI, LLM.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.315834

РОЗРОБКА ГІБРИДНОЇ МОДЕЛІ CNN-RNN ДЛЯ ПОКРАЩЕНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ЖЕСТИВ У КАЗАХСЬКІЙ ЖЕСТОВІЙ МОВІ (с. 58–67)

Aigerim Aitim, Dariga Sattarkhuzhayeva, Aisulu Khairullayeva

Для близько 1 % населення Республіки Казахстан, яке має порушення слуху, Казахська жестова мова набуває великого значення як засіб спілкування між громадянами держави. Обмеження інструментів для Казахської жестової мови (КЖМ) створюють значні виклики для людей із порушеннями слуху в освіті, працевлаштуванні та повсякденному житті, обмежуючи їх можливості для повноцінної участі в суспільному житті. Це дослідження вирішує ці проблеми через розробку автоматизованої системи розпізнавання жестів Казахської жестової мови, спрямованої на підвищення доступності та інклюзивності спілкування за допомогою штучного інтелекту. Підхід використовує передові методи машинного навчання, зокрема згорткові нейронні мережі (CNN) для розпізнавання просторових моделей жестів і рекурентні нейронні мережі (RNN) для обробки часових послідовностей. Об'єднавши ці методи, система розпізнає як жести рук, так і вирази обличчя, забезпечуючи двопотокову модель, яка перевершує однопотокові системи розпізнавання жестів, зосереджені лише на рухах рук. Для дослідження було створено спеціальний датасет за допомогою Mediapipe Holistic — інструмента з відкритим кодом, який визначає 543 ключові точки на руках, обличчі та позах, точно і надійно охоплюючи багатогранну природу жестової мови. Результати показали, що гібридна модель значно перевершує окремі моделі CNN та RNN, досягаючи точності до 96 %. Це свідчить, що інтеграція виразів обличчя з жестами рук значно підвищує точність розпізнавання жестової мови. Ця система має величезний потенціал для покращення інклюзивності, доступності та якості спілкування в різних сферах Республіки Казахстан, сприяючи ефективному спілкуванню людей із порушеннями слуху та відкриваючи широкі можливості для розширення досліджень і застосувань в інших жестових мовах.

Ключові слова: динамічне розпізнавання жестів, гібридна нейронна мережа, автоматизація Казахської жестової мови, міміка.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.325932

ІНВАЛІДАЦІЯ КЕШУ НА ОСНОВІ ДЕКЛАРАТИВНОГО ПІДХОДУ ДЛЯ ВІДОКРЕМЛЕННЯ БІЗНЕС-ЛОГІКИ МІКРОСЕРВІСІВ ВІД ПРАВИЛ ОНОВЛЕННЯ КЕШУ (с. 68–74)

В. Г. Фалькевич, А. О. Лісняк

Об'єктом дослідження є механізми інвалідації кешу в мікросервісній архітектурі. Проблема, що вирішувалася, полягає у зменшенні міжсервісних залежностей, підвищенні продуктивності та забезпеченні узгодженості даних у розподілених високонавантажених системах шляхом оптимізації механізмів кешування. Отримані результати включають розробку концептуальної моделі декларативного підходу до інвалідації кешу, яка визначає структуру та механізми відокремлення бізнес-логіки мікросервісів від процесів оновлення кешу. Запропоноване рішення ґрунтується на використанні централізованого управління інструкціями кешування за допомогою YAML-конфігурацій та асинхронного обміну повідомленнями між сервісами.

Оптимізація механізмів додавання, оновлення та видалення елементів кешу забезпечує ефективне управління кешованими даними, що гарантує уникнення залишкових записів після видалення, оновлення всіх списків, у яких фігурував елемент, а також підтримку узгодженості кешу при оновленні або видаленні даних. Запропонований підхід сприяє підвищенню автономності мікросервісів, зниженню міжсервісних залежностей і більш раціональному використанню кешу. Особливості та відмінні риси отриманих результатів полягають у тому, що запропонований підхід використовує декларативну модель управління кешем, що відрізняється від традиційних імперативних рішень. Це забезпечує гнучкість у конфігурації механізмів оновлення кешу без потреби внесення змін у бізнес-логіку мікросервісів.

Сфера та умови практичного використання отриманих результатів охоплюють високонавантажені розподілені системи, де критично важливими є швидкий доступ до даних, масштабованість і стійкість до навантажень. Запропонований підхід може бути застосований для розробки ефективних стратегій кешування у мікросервісних архітектурах.

Ключові слова: інвалідація кешу, Redis, Memcached, декларативний підхід, кеш сховище, оптимізація продуктивності.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.325251

РОЗРОБКА ІНСТРУМЕНТУ ВИЯВЛЕННЯ ВРАЗЛИВОСТЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ ВЕЛИКИХ МОВНИХ МОДЕЛЕЙ (с. 75–83)

А. Ю. Журавчак, А. З. Піскозуб, Б. В. Скориневич, Ю. В. Лах, Д. Ю. Журавчак, П. К. Глущенко, М. В. Ворохоб, І. С. Беляєв, П. С. Венгерський, І. В. Колбасинський

Об'єктом дослідження є інструмент для автоматизації виявлення вразливостей за допомогою великих мовних моделей, розроблений для скорочення часу, витраченого на традиційне тестування на проникнення. Додатково було здійснено детальний аналіз, що порівнює ефективність автоматизованого підходу з класичним ручним тестуванням безпеки. Інструмент використовує програмний інтерфейс додатків до великих мовних моделей, що дозволяє аналізувати великі обсяги даних, виявляти складні взаємозв'язки між компонентами систем та забезпечувати інтерактивну підтримку фахівців під час тестування. Шляхом проведення експериментів інструмент показав здатність інтегруватися з популярними засобами тестування на проникнення та працювати з реальними загрозами, зокрема у сценаріях з активними атаками на мережі та веб-додатки. Автоматизація рутинних завдань (перевірка конфігурацій, аналіз вихідних даних інструментів, формування рекомендацій) дала змогу суттєво знизити навантаження на фахівців. У середньому інструмент скоротив час виконання тестування на 54.4 % порівняно з ручним підходом. Показники повноти сягали 94.7 % у сценаріях мережевого аналізу й знижувалися до 66.7 % під час тестування веб-додатків, а точність автоматизованого підходу коливалася

в межах 80–90 %. Результати підтвердили, що застосування великих мовних моделей значно скорочує час на виконання завдань та покращує точність виявлення вразливостей. Інструмент може використовуватися як самостійно, так і у поєднанні з іншими засобами автоматизації, що робить його універсальним рішенням для організацій різного масштабу. Таким чином, запропоноване рішення є вагомим внеском у розвиток сучасних технологій кібербезпеки та демонструє перспективність інтеграції штучного інтелекту у процеси автоматизації.

Ключові слова: великі мовні моделі, автоматизація виявлення вразливостей, штучний інтелект, мултивекторне тестування.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.324957

РОЗРОБЛЕННЯ ПІДХОДУ ДО ЗАПОБІГАННЯ ВИНИКНЕННЮ ІНФОРМАЦІЙНОГО ХАОСУ У ЧАТ-БОТАХ З ВИКОРИСТАННЯМ ПОРОДЖУВАЛЬНОГО ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ (с. 84–95)

О. О. Кряжич, І. А. Іванов, К. С. Ющенко, О. М. Купрін, О. В. Васенко, В. В. Різник, О. С. Рижков

Об'єктом дослідження роботи виступають мовні конструкції запитів до чат-ботів з Великими Мовними Моделями (LLM). Проблема дослідження є виникнення інформаційного хаосу при спілкуванні користувача та чат-боту, що призводить до помилок при формуванні відповіді на запит. Прийнято припущення, що користувач та чат-бот є окремими складними системами, події та дії яких важко прогнозуються на довготривалий період. Моделі поведінки складних систем підпадають під дію теорії хаосу. Для демонстрації цього в роботі використана одна із простих математичних задач з логічною складовою. Чат-боти Copilot та ChatGPT 4o mini, які досліджувалися, у відповідь на запит за задачею видавали помилкові результати. Помилка виникала при генерації запиту через введення логічної складової. Подібний процес був представлений системою диференціальних рівнянь, розв'язання якої дозволяє встановлювати чіткі правила для отримання точної відповіді на запит.

Для подання запиту від користувача було запропоновано підхід, який дозволяє розбити інформаційний блок запиту шляхом побудови кусочно-лінійних атракторів. Тобто, відбувається формування парних смислових виразів з формуванням запиту, очищеного від інформаційного шуму. Задача вирішена з представленням методики механізму управління вибором слів-замінників, заснований на операціях генерації наступної підстановки і обчислення номера заданої підстановки.

За розробленим підходом було отримано найкращі варіанти запиту до чат-боту Copilot у 182 символи або 48 слів, цифр та спеціальних знаків. До чат-боту ChatGPT 4o mini такий запит складався з 219 символів.

Запропоноване може бути використане у практичній діяльності для вдосконалення технологій чат-ботів та формування ключових наборів даних у системах штучного інтелекту, що у подальшому дозволить уникати помилок при вирішенні задач з логічною складовою.

Ключові слова: Велика Мовна Модель, LLM, Copilot, ChatGPT, елемент циклового класу, атрактор.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.326779

ПРОГНОЗУВАННЯ АНОМАЛІЙ МЕРЕЖЕВОГО ТРАФІКУ (р. 96–111)

Inkar Zhumay, Kymyssey Tumanbayeva, Katipa Chezimbayeva, Kuat Kalibek

Зростаючий обсяг трафіку, зростаюча кількість з'єднань у телекомунікаційних мережах і збільшення кількості мобільних пристроїв висувають значні вимоги до мережевих провайдерів. Ці виклики можуть призвести до перевантаження, проблем із затримкою та вразливості безпеки. Однак їх можна пом'якшити або навіть запобігти, заздалегідь визначивши збої мережі. Виявлення аномалій відіграє вирішальну роль у проактивному вирішенні цих проблем, дозволяючи мережевим операторам оптимізувати продуктивність мережі, підвищити безпеку та покращити загальну взаємодію з користувачем.

В даному дослідженні реалізовано метод прогнозування аномалій на основі машинного навчання. Було розглянуто модель LSTM-SMOTE, яка була навчена та протестована на наборі даних KDD-NLS, і проаналізовано результати моделі прогнозування. Розробка мультикласифікаційної моделі виявилася складним завданням, насамперед через обмежену кількість типів атак. SMOTE розроблено для вирішення таких труднощів. Незбалансовані набори даних є серйозною проблемою в прогнозованому моделюванні, особливо під час вирішення проблем класифікації. Чотири основні типи атак включають атаки на відмову в обслуговуванні (DoS), атаки на зондування, атаки на привілеї та атаки на доступ. У цій роботі було розроблено три моделі нейронних мереж, у тому числі: бінарну класифікацію, чотирикласову класифікацію, багатокласову класифікацію. Помічено, що знову навчена модель прогнозування показала найкращі результати ніж навчена модель з новими аномальними даними. Багатокласова модель LSTM-SMOTE досягла найвищої продуктивності, її точність прогнозування зросла з 75 % до 99 % через ітерації, що підкреслює її сильну залежність від якості та кількості даних. Практичне застосування отриманих результатів може бути застосоване для оптимізації продуктивності мережі.

Ключові слова: мережева аномалія, телекомунікаційний трафік, прогнозування мережевого трафіку, довготривала короткочасна пам'ять, напівкероване навчання.