

ABSTRACT AND REFERENCES

INFORMATION TECHNOLOGY. INDUSTRY CONTROL SYSTEMS

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.338096

DEVELOPMENT OF A MULTI-MODAL FULLY GUIDED ATTENTION GATE (MM-FGAG) FRAMEWORK FOR SPATIO-TEMPORAL FLOOD DETECTION (p. 6–17)

Neni Mulyani

Royal University, Kisaran, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5690-5853>

Anjar Wanto

STIKOM Tunas Bangsa, Pematangsiantar, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4891-084X>

Jhonson Efendi Hutagalung

Royal University, Kisaran, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4724-438X>

Floods are one of the most frequent hydrometeorological disasters in Indonesia, causing severe social, economic, and environmental impacts. The object of this research is spatio-temporal flood detection in Simpang Empat, Asahan Regency, North Sumatra, an area that faces annual flooding due to high rainfall, low-lying topography, and land-use changes. Conventional detection approaches based on either spatial or temporal data often fail to capture complex interactions, thereby limiting predictive accuracy. To address this problem, this study developed a multi-modal fully guided attention gate (MM-FGAG) framework that integrates Sentinel-2 multispectral imagery, SRTM elevation, CHIRPS rainfall, and ERA5 atmospheric variables. The model employs CNN-based spatial priors to guide temporal attention in LSTM, ensuring that predictions focus on the most flood-relevant regions and time periods. Experimental results show that MM-FGAG achieved 91.72% accuracy, 92.05% precision, 90.29% recall, and an AUC of 0.945, significantly outperforming CNN, LSTM, and CNN-LSTM baselines. This improvement is explained by explicit spatial-to-temporal guidance, which enhances predictive accuracy while also increasing interpretability through attention maps. Distinctive features of the framework include multimodal integration, guided attention, and the ability to generate flood risk maps with more than 90% agreement with observed data. These findings confirm that MM-FGAG is robust, adaptive, and capable of producing accurate and explainable predictions. The framework shows strong potential for use in flood early warning systems and disaster risk management, providing timely information for evacuation planning and resource allocation in vulnerable regions.

Keywords: flood, spatio-temporal detection, multimodal, guided attention, deep learning, early warning system.

References

- Gosset, M., Dibi-Anoh, P. A., Schumann, G., Hostache, R., Paris, A., Zahiri, E.-P. et al. (2023). Hydrometeorological Extreme Events in Africa: The Role of Satellite Observations for Monitoring Pluvial and Fluvial Flood Risk. *Surveys in Geophysics*, 44 (1), 197–223. <https://doi.org/10.1007/s10712-022-09749-6>
- Hermawan, E., Risyanto, R., Purwaningsih, A., Ratri, D. N., Ridho, A., Harjana, T. et al. (2024). Characteristics of Mesoscale Convective Systems and Their Impact on Heavy Rainfall in Indonesia's New Capital City, Nusantara, in March 2022. *Advances in Atmospheric Sciences*, 42 (2), 342–356. <https://doi.org/10.1007/s00376-024-4102-1>
- Taye, M. T., Dyer, E. (2024). Hydrologic Extremes in a Changing Climate: a Review of Extremes in East Africa. *Current Climate Change Reports*, 10 (1), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s40641-024-00193-9>
- Abegaz, R., Wang, F., Xu, J. (2024). History, causes, and trend of floods in the U.S.: a review. *Natural Hazards*, 120 (15), 13715–13755. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06791-y>
- Waleed, M., Sajjad, M. (2023). On the emergence of geospatial cloud-based platforms for disaster risk management: A global scientometric review of google earth engine applications. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 97, 104056. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2023.104056>
- Luk, S. Y., Sajjad, M. (2025). From space to screen: Recent advances in remote sensing for mangrove valuation through a bibliometric lens. *Ocean & Coastal Management*, 269, 107844. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2025.107844>
- Asiyabi, R. M., Ghorbanian, A., Tameh, S. N., Amani, M., Jin, S., Mohammadzadeh, A. (2023). Synthetic Aperture Radar (SAR) for Ocean: A Review. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 16, 9106–9138. <https://doi.org/10.1109/jstars.2023.3310363>
- Du, R., Xiang, Y., Chen, J., Lu, X., Zhang, F., Zhang, Z. et al. (2024). The daily soil water content monitoring of cropland in irrigation area using Sentinel-2/3 spatio-temporal fusion and machine learning. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 132, 104081. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.104081>
- Pareta, K. (2023). Hydrological modelling of largest braided river of India using MIKE Hydro River software with rainfall runoff, hydrodynamic and snowmelt modules. *Journal of Water and Climate Change*, 14 (4), 1314–1338. <https://doi.org/10.2166/wcc.2023.484>
- Li, J., Wu, G., Zhang, Y., Shi, W. (2024). Optimizing flood predictions by integrating LSTM and physical-based models with mixed historical and simulated data. *Heliyon*, 10 (13), e33669. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33669>
- Ke, E., Zhao, J., Zhao, Y. (2025). Investigating the influence of nonlinear spatial heterogeneity in urban flooding factors using geographic explainable artificial intelligence. *Journal of Hydrology*, 648, 132398. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.132398>
- Zhao, B., Sui, H., Liu, J., Shi, W., Wang, W., Xu, C., Wang, J. (2024). Flood inundation monitoring using multi-source satellite imagery: a knowledge transfer strategy for heterogeneous image change detection. *Remote Sensing of Environment*, 314, 114373. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2024.114373>
- Bagheri, A., Liu, G.-J. (2025). Climate change and urban flooding: assessing remote sensing data and flood modeling techniques: a comprehensive review. *Environmental Reviews*, 33, 1–14. <https://doi.org/10.1139/er-2024-0065>
- Qatrinnada, W. F. P., Hidayah, E., Halik, G., Wiyono, R. U. A. (2024). A literature review: rainfall thresholds as flash flood monitoring for an early warning system. *Water Practice & Technology*, 19 (11), 4486–4498. <https://doi.org/10.2166/wpt.2024.271>
- Huang, X., Chen, N., Deng, Z., Huang, S. (2024). Multivariate time series anomaly detection via dynamic graph attention network and Informer. *Applied Intelligence*, 54 (17-18), 7636–7658. <https://doi.org/10.1007/s10489-024-05575-y>
- Maddah, S., Mojaradi, B., Alizadeh, H. (2024). Enhancing flood susceptibility modeling using integration of multi-source satellite imagery and multi-input convolutional neural network. *Natural Hazards*, 121 (3), 2801–2824. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06764-1>
- Fu, Y., Zhu, Z., Liu, L., Zhan, W., He, T., Shen, H. et al. (2024). Remote Sensing Time Series Analysis: A Review of Data and Applications.

Journal of Remote Sensing, 4. <https://doi.org/10.34133/remotesens:ing.0285>

18. Islam, K., Daraio, J. A., Cheema, M., Sabau, G., Galagedara, L. (2025). Improved streamflow prediction accuracy in Boreal climate watershed using a LSTM model: A comparative study. *PLOS Water*, 4 (4), e0000359. <https://doi.org/10.1371/journal.pwat.0000359>
19. He, X., Zhang, S., Xue, B., Zhao, T., Wu, T. (2023). Cross-modal change detection flood extraction based on convolutional neural network. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 117, 103197. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103197>
20. Chen, Z., Lin, H., Shen, G. (2023). TreeLSTM: A spatiotemporal machine learning model for rainfall-runoff estimation. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 48, 101474. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101474>
21. Farahmand, H., Xu, Y., Mostafavi, A. (2023). A spatial-temporal graph deep learning model for urban flood nowcasting leveraging heterogeneous community features. *Scientific Reports*, 13 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-32548-x>
22. Li, J., Jin, C., Shen, Y., Ye, W. (2024). TRSAnet: A Remote Sensing Deep Learning Model for Water Body Change Detection Based on Time-Reversal Semantic Asymmetry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 62, 1–13. <https://doi.org/10.1109/tgrs.2024.3458951>
23. Oddo, P. C., Bolten, J. D., Kumar, S. V., Cleary, B. (2024). Deep Convolutional LSTM for improved flash flood prediction. *Frontiers in Water*, 6. <https://doi.org/10.3389/frwa.2024.1346104>
24. Wang, Z., Lyu, H., Fu, G., Zhang, C. (2024). Time-guided convolutional neural networks for spatiotemporal urban flood modelling. *Journal of Hydrology*, 645, 132250. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.132250>
25. Saleh, T., Holail, S., Zahran, M., Xiao, X., Xia, G.-S. (2024). LiST-Net: Enhanced Flood Mapping With Lightweight SAR Transformer Network and Dimension-Wise Attention. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 62, 1–17. <https://doi.org/10.1109/tgrs.2024.3397797>
26. Mondal, G., Dhanaraj, R. K. (2025). A novel multi-model fused classification for classifying the natural disaster. *Progress in Artificial Intelligence*. <https://doi.org/10.1007/s13748-025-00388-7>
27. Chen, C., Zhang, D., Qi, X., Wang, Z., Xiang, L. (2025). GKASA-DDPM: a novel flood forecasting model based on Graph Kolmogorov–Arnold Attention and spatio-temporal attention under smoothing DDPM. *Journal of Hydroinformatics*, 27 (3), 560–579. <https://doi.org/10.2166/hydro.2025.312>
28. Cui, Y., Duan, P., Li, J. (2025). PDSDC: Progressive Spatiotemporal Difference Capture Network for Remote Sensing Change Detection. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 18, 16879–16895. <https://doi.org/10.1109/jstars.2025.3569128>
29. Zhang, Q., Zhang, X., Quan, C., Zhao, T., Huo, W., Huang, Y. (2025). Mamba-STFM: A Mamba-Based Spatiotemporal Fusion Method for Remote Sensing Images. *Remote Sensing*, 17 (13), 2135. <https://doi.org/10.3390/rs17132135>
30. Wanto, A., Yuhandri, Y., Okfalisa, O. (2024). RetMobileNet: A New Deep Learning Approach for Multi-Class Eye Disease Identification. *Revue d'Intelligence Artificielle*, 38 (4). <https://doi.org/10.18280/ria.380401>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.331524

A HYBRID MULTI-SCALE CONVOLUTION NEURAL NETWORK WITH ATTENTION AND TEXTURE FEATURES FOR IMPROVED IMAGE CLASSIFICATION (p. 18–28)

Irpan Adiputra Pardosi

Universitas Sumatera Utara, Sumatera Utara, Indonesia
Universitas Mikroskil, Medan, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6385-7365>

Tengku Henny Febriana Harumy

Universitas Sumatera Utara, Sumatera Utara, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1504-5570>

Syahril Efendi

Universitas Sumatera Utara, Sumatera Utara, Indonesia

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

The object of this study is the classification of low-resolution and multi-class images, represented by the CIFAR-10 benchmark dataset. It is challenging to accurately classify low-resolution and multi-class images because traditional CNNs usually have trouble identifying both global and complex texture patterns. To address this issue, this study employs the CIFAR-10 dataset as a representative benchmark for real-world scenarios where image quality is limited, such as in low-cost medical imaging, remote sensing, and security surveillance systems. The limited discriminability of traditional CNNs in these situations is the primary issue addressed. The proposed method employs three parallel convolutional streams with distinct kernel sizes (3×3 , 5×5 , and 7×7) to capture hierarchical spatial patterns, followed by the integration of two attention mechanisms – squeeze-and-excitation and convolutional block attention module – that adaptively emphasize the most relevant spatial and channel-wise information. In addition, structural texture descriptors such as Gray-level co-occurrence matrix, local binary pattern, and Gabor filters are computed independently and later fused with the deep representations to enrich the feature space. Experiments were carried out on the CIFAR-10 dataset under varying levels of class complexity: 10, 5, and 3 categories. The results reveal that the hybrid approach significantly improves precision, recall, and F1-score across all scenarios, with the highest accuracy of 90.87% obtained when only three classes are involved. These improvements are explained by the complementary nature of deep and handcrafted features, which together enable the model to learn both global semantics and fine-grained local textures can achieve higher classification accuracy, improved reliability, and reduced misclassification errors, ultimately enhancing the effectiveness of applications ranging from medical decision support to intelligent surveillance.

Keywords: multi-scale kernel, attention mechanisms, CIFAR-10, GLCM, LBP, Gabor filters.

References

1. Talebi, K., Torabi, Z., Daneshpour, N. (2024). Ensemble models based on CNN and LSTM for dropout prediction in MOOC. *Expert Systems with Applications*, 235, 121187. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121187>
2. Harumy, T. H. F., Zarlis, M., Lydia, M. S., Efendi, S. (2023). A novel approach to the development of neural network architecture based on metaheuristic protis approach. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (4 (124)), 46–59. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.281986>
3. Rao, K. N., Khalaf, O. I., Krishnasree, V., Kumar, A. S., Alsekait, D. M., Priyanka, S. S. et al. (2024). An efficient brain tumor detection and classification using pre-trained convolutional neural network models. *Heliyon*, 10 (17), e36773. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36773>
4. Krizhevsky, A., Sutskever, I., Hinton, G. E. (2017). ImageNet classification with deep convolutional neural networks. *Communications of the ACM*, 60 (6), 84–90. <https://doi.org/10.1145/3065386>
5. Wei, D., Zhou, B., Torrabla, A., Freeman, W. (2015). Understanding Intra-Class Knowledge Inside CNN. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1507.02379>
6. Zhou, F., Wang, J. (2024). Heartbeat classification method combining multi-branch convolutional neural networks and transformer. *IScience*, 27 (3), 109307. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.109307>

7. Harumy, T. H. F., Br Ginting, D. S., Manik, F. Y., Alkhowarizmi, A. (2024). Developing an early detection model for skin diseases using a hybrid deep neural network to enhance health independence in coastal communities. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (9 (132)), 71–85. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.313983>
8. Zeng, G., He, Y., Yu, Z., Yang, X., Yang, R., Zhang, L. (2015). Preparation of novel high copper ions removal membranes by embedding organosilane-functionalized multi-walled carbon nanotube. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 91 (8), 2322–2330. <https://doi.org/10.1002/jctb.4820>
9. Sengupta, A., Ye, Y., Wang, R., Liu, C., Roy, K. (2019). Going Deeper in Spiking Neural Networks: VGG and Residual Architectures. *Frontiers in Neuroscience*, 13. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00095>
10. Tan, M., Le, Q. V. (2019). EfficientNet: Rethinking Model Scaling for Convolutional Neural Networks Mingxing. *International Conference on Machine Learning*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1905.11946>
11. Hu, J., Shen, L., Sun, G. (2018). Squeeze-and-Excitation Networks. 2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. <https://doi.org/10.1109/cvpr.2018.00745>
12. Woo, S., Park, J., Lee, J.-Y., Kweon, I. S. (2018). CBAM: Convolutional Block Attention Module. *Computer Vision – ECCV 2018*, 3–19. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01234-2_1
13. Chen, S.-H., Wu, Y.-L., Pan, C.-Y., Lian, L.-Y., Su, Q.-C. (2023). Breast ultrasound image classification and physiological assessment based on GoogLeNet. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 16 (3), 100628. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2023.100628>
14. Zhang, C., Pan, X., Li, H., Gardiner, A., Sargent, I., Hare, J., Atkinson, P. M. (2018). A hybrid MLP-CNN classifier for very fine resolution remotely sensed image classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 140, 133–144. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.07.014>
15. Shafiq, M. A., Wang, Z., Amin, A., Hegazy, T., Deriche, M., AlRegib, G. (2015). Detection of Salt-dome Boundary Surfaces in Migrated Seismic Volumes Using Gradient of Textures. *SEG Technical Program Expanded Abstracts 2015*, 1811–1815. <https://doi.org/10.1190/segam2015-5927230.1>
16. Ojala, T., Pietikäinen, M., Harwood, D. (1996). A comparative study of texture measures with classification based on featured distributions. *Pattern Recognition*, 29 (1), 51–59. [https://doi.org/10.1016/0031-3203\(95\)00067-4](https://doi.org/10.1016/0031-3203(95)00067-4)
17. Althnian, A., Aloboud, N., Alkharashi, N., Alduwaish, F., Alrshoud, M., Kurdi, H. (2020). Face Gender Recognition in the Wild: An Extensive Performance Comparison of Deep-Learned, Hand-Crafted, and Fused Features with Deep and Traditional Models. *Applied Sciences*, 11 (1), 89. <https://doi.org/10.3390/app11010089>
18. Guo, J., Yuan, H., Shi, B., Zheng, X., Zhang, Z., Li, H., Sato, Y. (2024). A novel breast cancer image classification model based on multiscale texture feature analysis and dynamic learning. *Scientific Reports*, 14 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57891-5>
19. Liao, N., Guan, J. (2024). Multi-scale Convolutional Feature Fusion Network Based on Attention Mechanism for IoT Traffic Classification. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 17 (1). <https://doi.org/10.1007/s44196-024-00421-y>
20. Yazdan, S. A., Ahmad, R., Iqbal, N., Rizwan, A., Khan, A. N., Kim, D. H. (2022). An Efficient Multi-Scale Convolutional Neural Network Based Multi-Class Brain MRI Classification for SaMD. *Tomography*, 8 (4), 1905–1927. <https://doi.org/10.3390/tomography8040161>
21. Ishengoma, F. S., Lyimo, N. N. (2024). Ensemble model for grape leaf disease detection using CNN feature extractors and random forest classifier. *Heliyon*, 10 (12), e33377. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33377>
22. Xu, Z., Guo, X., Wang, J. (2024). Enhancing skin lesion segmentation with a fusion of convolutional neural networks and transformer models. *Heliyon*, 10 (10), e31395. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31395>
23. Liu, X., Hu, L., Tie, L., Jun, L., Wang, X., Liu, X. (2024). Integration of Convolutional Neural Network and Vision Transformer for gesture recognition using sEMG. *Biomedical Signal Processing and Control*, 98, 106686. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2024.106686>
24. Zhang, L., Zeng, W., Zhou, P., Deng, X., Wu, J., Wen, H. (2025). A fast and lightweight train image fault detection model based on convolutional neural networks. *Image and Vision Computing*, 154, 105380. <https://doi.org/10.1016/j.imavis.2024.105380>
25. Krizhevsky, A. (2009). Learning Multiple Layers of Features from Tiny Images. University of Toronto. Available at: <https://www.cs.utoronto.ca/~kriz/learning-features-2009-TR.pdf>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.341516

EVALUATING AN INTEGRATED USER-FEEDBACK APPROACH TO SOFTWARE QUALITY MONITORING: ENHANCING ACCURACY AND TIMELINESS (p. 29–42)

Nurzhamal Kashkimbayeva

Astana IT University, Astana, Republic of Kazakhstan

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

Ulan Bekish

Academy of Public Administration Under the President of the Republic of Kazakhstan, Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8979-4238>

Gulsim Abdoldinova

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7891-7175>

Zhuldyz Basheyeva

Astana IT University, Astana, Republic of Kazakhstan

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

Alina Mitroshina

Astana IT University, Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6909-002X>

The object of the research is a monitoring and analysis system for software quality based on user feedback collected from open-source projects on GitHub. The problem addressed is the lack of effective automated tools that can process large volumes of unstructured user feedback to identify quality issues, prioritize tasks, and detect negative trends in real time. Traditional quality assurance methods, while important, fail to capture the nuance of user sentiment and the contextual details present in natural language feedback, leading to delays in problem detection and resolution. The developed system integrates three key modules: sentiment analysis for assessing user satisfaction, issue categorization for structuring feedback into actionable types, and anomaly detection for identifying sudden changes in sentiment or feedback dynamics. The results show that transformer-based models, particularly fine-tuned BERT, outperform rule-based and traditional machine learning approaches in both accuracy and robustness. This advantage is explained by their ability to capture domain-specific language, sarcasm, and contextual dependencies, enabling more precise interpretation of complex feedback. The anomaly detection component, using LSTM autoencoders and Isolation Forest, demonstrated the ability to identify critical quality regressions up to two days before official issue reporting. These results can be applied in practice for continuous software quality monitoring in agile, open-source, or user-centric development environments where timely, data-driven

decision-making is essential. The approach supports real-time insight generation, helping development teams respond proactively to quality risks and improve overall user satisfaction.

Keywords: feedback analysis, software quality, sentiment analysis, issue detection, data processing.

References

- Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., Toutanova, K. (2019). BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. *Proceedings of NAACL-HLT*, 4171–4186. <https://doi.org/10.18653/v1/N19-1423>
- Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 30. <https://papers.nips.cc/paper/7181-attention-is-all-you-need.pdf>
- Bordoloi, M., Biswas, S. K. (2023). Sentiment analysis: A survey on design framework, applications and future scopes. *Artificial Intelligence Review*, 56 (11), 12505–12560. <https://doi.org/10.1007/s10462-023-10442-2>
- Barik, K., Misra, S. (2024). Analysis of customer reviews with an improved VADER lexicon classifier. *Journal of Big Data*, 11 (1). <https://doi.org/10.1186/s40537-023-00861-x>
- Ahmad, W., Chakraborty, S., Ray, B., Chang, K.-W. (2020). A Transformer-based Approach for Source Code Summarization. *Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, 4998–5007. <https://doi.org/10.18653/v1/2020.acl-main.449>
- Nurgaliyeva, S., Amangali, M., Basheyeva, Z., Kashkimbayeva, N., Amantayev, D. (2025). Design and evaluation of an intelligent waste monitoring system based on RGIS integration for smart cities. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (136)), 70–78. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.337033>
- Smailov, N., Batyrgaliyev, A., Seilova, N., Kuttybaeva, A., Ibrayev, A. (2020.) Some approaches to assessing the quality of masking noise interference of spatial noise generators. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 98 (17), 3555–3574. Available at: <https://www.jatit.org/volumes/Vol98No17/12Vol98No17.pdf>
- Panichella, S., Di Sorbo, A., Guzman, E., Visaggio, C. A., Canfora, G., Gall, H. C. (2015). How can i improve my app? Classifying user reviews for software maintenance and evolution. *2015 IEEE International Conference on Software Maintenance and Evolution (ICSME)*, 281–290. <https://doi.org/10.1109/icsm.2015.7332474>
- Villarroel, L., Bavota, G., Russo, B., Oliveto, R., Di Penta, M. (2016). Release planning of mobile apps based on user reviews. *Proceedings of the 38th International Conference on Software Engineering*, 14–24. <https://doi.org/10.1145/2884781.2884818>
- Di Sorbo, A., Panichella, S., Alexandru, C. V., Shimagaki, J., Visaggio, C. A., Canfora, G., Gall, H. C. (2016). What would users change in my app? summarizing app reviews for recommending software changes. *Proceedings of the 2016 24th ACM SIGSOFT International Symposium on Foundations of Software Engineering*, 499–510. <https://doi.org/10.1145/2950290.2950299>
- Maalej, W., Nabil, H. (2015). Bug report, feature request, or simply praise? On automatically classifying app reviews. *2015 IEEE 23rd International Requirements Engineering Conference (RE)*, 116–125. <https://doi.org/10.1109/re.2015.7320414>
- Shinykulova, A. B., Mailybayev, Y. K., Isaykin, D. V., Kosyakov, I. O., Umbetov, U. U. (2020). Optimization of tourist transportation. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 98 (19), 3032–3042. Available at: <https://www.jatit.org/volumes/ninetyeight19.php>
- Taissariyeva, K., Abdykadyrov, A., Mussilimov, K., Jobalayeva, G., Marxuly, S. (2025). Analysis and Modeling of Environmental Monitoring Using Multicopters. *International Journal of Innovative Research and Scientific Studies*, 8 (3), 2947–2960.
- Wójcik, W., Kalizhanova, A., Kulyk, Y., Knysh, B., Kvyetnyy, R., Kulyk, A. et al. (2022). The Method of Time Distribution for Environment Monitoring Using Unmanned Aerial Vehicles According to an Inverse Priority. *Journal of Ecological Engineering*, 23 (11), 179–187. <https://doi.org/10.12911/22998993/153458>
- Campos, G. O., Zimek, A., Sander, J., Campello, R. J. G. B., Micenkova, B., Schubert, E. et al. (2016). On the evaluation of unsupervised outlier detection: measures, datasets, and an empirical study. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 30 (4), 891–927. <https://doi.org/10.1007/s10618-015-0444-8>
- Smailov, N., Baryssova, A., Koshkinbayev, S., Mailybayev, Y., Batyrgaliyev, A. (2025). Monitoring of emergency situations using fiber-optic acoustic sensors and signal processing algorithms. *International Journal of Innovative Research and Scientific Studies*, 8 (5), 1295–1304. <https://doi.org/10.53894/ijirss.v8i5.9093>
- Smailov, N., Tolemanova, A., Ayapbergenova, A., Tashtay, Y., Amir, A. (2025). Modelling and Application of Fibre Optic Sensors for Concrete Structures: A Literature Review. *Civil Engineering and Architecture*, 13 (3), 1885–1897. <https://doi.org/10.13189/cea.2025.130332>
- Momynkulov, Z., Dosbayev, Z., Suliman, A., Abduraimova, B., Smailov, N., Zhekambayeva, M., Zhamangarin, D. (2023). Fast Detection and Classification of Dangerous Urban Sounds Using Deep Learning. *Computers, Materials & Continua*, 75 (1), 2191–2208. <https://doi.org/10.32604/cmc.2023.036205>
- Smailov, N., Kashkimbayeva, N., Kubanova, N., Sabibolda, A., Mailybayev, Y. (2025). Review of AI-augmented multisensor architectures for detecting and neutralizing UAV threats. *International Journal of Innovative Research and Scientific Studies*, 8 (5), 1281–1294. <https://doi.org/10.53894/ijirss.v8i5.9091>
- Seidaliyeva, U., Ilipbayeva, L., Utebayeva, D., Smailov, N., Matson, E. T., Tashtay, Y. et al. (2025). LiDAR Technology for UAV Detection: From Fundamentals and Operational Principles to Advanced Detection and Classification Techniques.
- Smailov, N., Dosbayev, Z., Omarov, N., Sadykova, B., Zhekambayeva, M., Zhamangarin, D., Ayapbergenova, A. (2023). A Novel Deep CNN-RNN Approach for Real-time Impulsive Sound Detection to Detect Dangerous Events. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 14 (4), 271–280. <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2023.0140431>
- Cristea, V.-M., Baigulbayeva, M., Ongarbayev, Y., Smailov, N., Akkazin, Y., Ubaidulayeva, N. (2023). Prediction of Oil Sorption Capacity on Carbonized Mixtures of Shungite Using Artificial Neural Networks. *Processes*, 11 (2), 518. <https://doi.org/10.3390/pr11020518>
- Zhang, Z., Zhao, J., LeCun, Y. (2015). Character-level convolutional networks for text classification. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 28. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1509.01626>
- Mailybayev, Y., Muratbekova, G., Altayeva, Z., Zhatkanbayev, O. (2022). Development of models and improvement of methods for formalization of design problems and automating technical and operational works of railway stations. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (3 (118)), 6–16. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263167>
- Morokina, G., Umbetov, U., Mailybayev, Y. (2019). Computer-Aided Design Systems of Decentralization on Basis of Trace Mode in Industry. *2019 International Russian Automation Conference (RusAutoCon)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/rusautocon.2019.8867817>

26. Mailybayev, Y., Umbetov, U., Lakhno, V., Omarov, A., Abuova, A., Amanova, M., Sauanova, K. (2021). Development of mathematical and information support for solving prediction tasks of a railway station development. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 99 (3).
27. McKinney, W. (2010). Data Structures for Statistical Computing in Python. *Proceedings of the 9th Python in Science Conference*, 56–61. <https://doi.org/10.25080/majora-92bf1922-00a>
28. GitHub REST API Documentation. Available at: <https://docs.github.com/en/rest> Last accessed: 06.08.2025
29. spaCy Documentation. Available at: <https://spacy.io> Last accessed: 06.08.2025
30. Morokina, G. S., Umbetov, U., Mailybaev, Y. K. (2020). Automation design systems for mechanical engineering and device node design. *Journal of Physics: Conference Series*, 1515 (3), 032061. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1515/3/032061>
31. Murzabekova, G., Glazyrina, N., Nekessova, A., Ismailova, A., Bazarova, M., Kashkimbayeva, N., Mukhametzhanova, B., Aldashova, M. (2023). Using deep learning algorithms to classify crop diseases. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 13 (6), 6737. <https://doi.org/10.11591/ijece.v13i6.pp6737-6744>

DOI 10.15587/1729-4061.2025.340491

DEVELOPMENT OF A MULTI-AGENT ADAPTIVE RECOMMENDATION SYSTEM BASED ON REINFORCEMENT LEARNING (p. 43–54)

Bohdan Romaniuk

Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-3700-8385>

Olha Peliushkevych

Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9035-9233>

This study's object is the process that improves efficiency and accuracy in delivering personalized recommendations to users in systems based on reinforcement learning.

The principal task addressed in the study is to improve recommendation adaptation and personalization by assigning a dedicated agent to each user. This approach reduces the influence of other users' activity and allows for more precise modeling of individual preferences.

The proposed approach employs an Actor-Critic model implemented using the Deep Deterministic Policy Gradient algorithm to achieve more stable training and maximize long-term rewards in sequential decision-making processes. Recommendations are generated using the unique characteristics of items that are based on users' historical interactions. Neural networks are trained with separate parameter configurations for single-agent and multi-agent models.

Experimental results on the MovieLens dataset demonstrate the superiority of the multi-agent model over the single-agent baseline across key evaluation metrics. For top-5 recommendations, the multi-agent model achieved improvements of + 4% for Precision@5; + 0.32% for Recall@5; and + 2.92% in Normalized Discounted Cumulative Gain NDCG@5. For top-10 recommendations, gains were + 1% for Precision@10; + 0.18% for Recall@10; and + 1.14% for NDCG@10, respectively.

Simulations for individual users showed that the multi-agent model outperformed the single-agent baseline in 66 out of 100 cases in terms of cumulative reward. The proposed system demonstrates effectiveness in capturing user preferences, improving recommendation quality, and adapting to evolving user preferences over time.

The main area of practical application for the results includes dynamic online environments such as e-commerce systems, media platforms, social networks, and news aggregators.

Keywords: personalized recommendation, reinforcement learning, multi-agent environment, Actor-Critic model.

References

1. Zhang, Y. (2022). An Introduction to Matrix Factorization and Factorization Machines in Recommendation System, and Beyond. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2203.11026>
2. Wang, Y., Ren, Z., Sun, W., Yang, J., Liang, Z., Chen, X. et al. (2024). Content-Based Collaborative Generation for Recommender Systems. *Proceedings of the 33rd ACM International Conference on Information and Knowledge Management*, 2420–2430. <https://doi.org/10.1145/3627673.3679692>
3. Saleh, A., Dharshinni, N., Perangin-Angin, D., Azmi, F., Sarif, M. I. (2023). Implementation of Recommendation Systems in Determining Learning Strategies Using the Naive Bayes Classifier Algorithm. *Sinkron*, 8 (1), 256–267. <https://doi.org/10.33395/sinkron.v8i1.11954>
4. Silva, N., Werneck, H., Silva, T., Pereira, A. C. M., Rocha, L. (2022). Multi-Armed Bandits in Recommendation Systems: A survey of the state-of-the-art and future directions. *Expert Systems with Applications*, 197, 116669. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.116669>
5. Liu, F., Tang, R., Li, X., Zhang, W., Ye, Y., Chen, H. et al. (2019). Deep Reinforcement Learning Based Recommendation with Explicit User-Item Interactions Modeling. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1810.12027>
6. Sumiea, E. H., AbdulKadir, S. J., Al-Selwi, S. M., Alqushaibi, A., Ragab, M. G., Fati, S. M., Alhussian, H. S. (2023). Deep Deterministic Policy Gradient Algorithm: A Systematic Review. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3544387/v1>
7. Wang, Z., Yu, Y., Zheng, W., Ma, W., Zhang, M. (2024). MACRec: A Multi-Agent Collaboration Framework for Recommendation. *Proceedings of the 47th International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*, 2760–2764. <https://doi.org/10.1145/3626772.3657669>
8. Zheng, S., Yin, H., Chen, T., Kong, X., Hou, J., Zhao, P. (2025). CADRL: Category-Aware Dual-Agent Reinforcement Learning for Explainable Recommendations over Knowledge Graphs. *2025 IEEE 41st International Conference on Data Engineering (ICDE)*, 128–141. <https://doi.org/10.1109/icde65448.2025.00017>
9. Hui, Z., Wei, X., Jiang, Y., Gao, K., Wang, C., Ong, F. et al. (2025). MATCHA: Can Multi-Agent Collaboration Build a Trustworthy Conversational Recommender? *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2504.20094>
10. Lowe, R., Wu, Y., Tamar, A., Harb, J., Abbeel, P., Mordatch, I. (2017). Multi-Agent Actor-Critic for Mixed Cooperative-Competitive Environments. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1706.02275>
11. Alhejaili, A., Fatima, S. (2021). Multi-Agent Recommender System. *Recent Advances in Agent-Based Negotiation*, 103–119. https://doi.org/10.1007/978-981-16-0471-3_7
12. Trivedi, P., Hemachandra, N. (2022). Multi-Agent Natural Actor-Critic Reinforcement Learning Algorithms. *Dynamic Games and Applications*. <https://doi.org/10.1007/s13235-022-00449-9>
13. Vullam, N., Vellela, S. S., B, V. R., Rao, M. V., SK, K. B., D, R. (2023). Multi-Agent Personalized Recommendation System in E-Commerce based on User. *2023 2nd International Conference on Applied Artificial Intelligence and Computing (ICAaic)*, 1194–1199. <https://doi.org/10.1109/icaaic56838.2023.10140756>
14. He, X., An, B., Li, Y., Chen, H., Wang, R., Wang, X. et al. (2020). Learning to Collaborate in Multi-Module Recommendation via Multi-Agent

- Reinforcement Learning without Communication. Fourteenth ACM Conference on Recommender Systems, 210–219. <https://doi.org/10.1145/3383313.3412233>
15. Wu, Q., Zhang, H., Gao, X., He, P., Weng, P., Gao, H., Chen, G. (2019). Dual Graph Attention Networks for Deep Latent Representation of Multifaceted Social Effects in Recommender Systems. The World Wide Web Conference, 2091–2102. <https://doi.org/10.1145/3308558.3313442>
 16. Khangar, N., Kamalja, K. (2017). Multiple Correspondence Analysis and Its Applications. Electronic Journal of Applied Statistical Analysis, 10 (2), 432–462. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/320694285>
 17. Ghojogh, B., Ghodsi, A., Karray, F., Crowley, M. (2022). Factor Analysis, Probabilistic Principal Component Analysis, Variational Inference, and Variational Autoencoder: Tutorial and Survey. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2101.00734>
 18. Pookduang, P., Klangbunrueang, R., Chansanam, W., Lunrasri, T. (2025). Advancing Sentiment Analysis: Evaluating RoBERTa against Traditional and Deep Learning Models. Engineering, Technology & Applied Science Research, 15 (1), 20167–20174. <https://doi.org/10.48084/etasr.9703>
 19. Jadon, A., Patil, A. (2024). A Comprehensive Survey of Evaluation Techniques for Recommendation Systems. Computation of Artificial Intelligence and Machine Learning, 281–304. https://doi.org/10.1007/978-3-031-71484-9_25
 20. Harper, F. M., Konstan, J. A. (2015). The MovieLens Datasets. ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems, 5 (4), 1–19. <https://doi.org/10.1145/2827872>
 21. Zhao, X., Wang, M., Zhao, X., Li, J., Zhou, S., Yin, D. et al. (2023). Embedding in Recommender Systems: A Survey. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2310.18608>
 22. Leon, V., Etesami, S. R. (2023). Online Reinforcement Learning in Markov Decision Process Using Linear Programming. 2023 62nd IEEE Conference on Decision and Control (CDC), 1973–1978. <https://doi.org/10.1109/cdc49753.2023.10383839>
 23. Romaniuk, B., Peliushkevych, O., Shcherbyna, Y. (2021). Recommendation system development using reinforcement learning. Visnyk of the Lviv University. Series Applied Mathematics and Computer Science, 29, 150–162. <https://doi.org/10.30970/vam.2021.29.11016>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.342297

DEVISING A CODE-FREE METHOD FOR DETECTING SIGNS OF INFORMATIONAL-PSYCHOLOGICAL INFLUENCES IN MESSAGES (p. 55–69)

Dmytro Lande

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3945-1178>

Kostiantyn Yefremov

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3495-6417>

Artem Soboliev

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4027-042X>

Ivan Pyshnograiev

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3346-8318>

This study investigates text messages that potentially contain signs of informational-psychological operations (IPSOs). The task addressed aims to solve the problem of detecting signs of IPSOs in the media space.

An innovative method for detecting such signs has been proposed, based on the construction and analysis of semantic networks and implemented without the use of program code by using large language models (LLMs). This makes it possible to generate formalized analytical queries to LLMs in the form of a code-free system based on the composition of structured prompts.

The method’s unique feature is the parallel analysis of data from two sources of knowledge: internal and external. The internal one contains generalized IPSO patterns formed on the basis of a wide corpus of data. The external one includes verified examples of fake messages from social networks, news outlets, and archives of fact-checking organizations.

To improve the accuracy of analysis, semantic normalization of concepts is used, which employs embedded vectors to unify terminology, as well as comparison of causal paths in semantic networks to identify connections. The assessment of the probability of a message belonging to IPSO is formed by aggregating the results using a weighted average, which makes it possible to take into account semantic and structural similarity. An example of applying the method to the analysis of a disinformation message is given, demonstrating the ability to detect key signs of psychological influence: manipulative narratives, emotional loading, and cause-and-effect relationships.

The proposed method is flexible, reproducible, and accessible to researchers without programming skills, which makes it a valuable tool for monitoring information threats and analyzing disinformation in the context of information confrontations.

Keywords: informational-psychological operation, semantic network, LLM, prompt engineering, codeless analytics, AI, disinformation.

References

1. Hassan, S. U., Ahamed, J., Ahmad, K. (2022). Analytics of machine learning-based algorithms for text classification. Sustainable Operations and Computers, 3, 238–248. <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.03.001>
2. Zgurovsky, M., Lande, D., Dmytrenko, O., Yefremov, K., Boldak, A., Soboliev, A. (2023). Technological Principles of Using Media Content for Evaluating Social Opinion. System Analysis and Artificial Intelligence, 379–396. https://doi.org/10.1007/978-3-031-37450-0_22
3. Ahmad Tamerin, A. S., Bakar, N. A. A., Hassan, N. H., Maarop, N. (2023). Counter-Narrative Cyber Security Model to Address the Issues of Cyber Terrorism. Open International Journal of Informatics, 11 (1), 96–113. <https://doi.org/10.11113/oiji.2023.11n1.30>
4. Lande, D., Strashnoy, L. (2025). Semantic AI Framework for Prompt Engineering. SSRN Electronic Journal. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5172867>
5. Lande, D., Strashnoy, L. (2025). Advanced Semantic Networking based on large language models. Kyiv: Engineering, 264.
6. Kingdon, A. (2021). The Meme Is the Method: Examining the Power of the Image Within Extremist Propaganda. Researching Cybercrimes, 301–322. https://doi.org/10.1007/978-3-030-74837-1_15
7. Guleria, P. (2024). NLP-based clinical text classification and sentiment analyses of complex medical transcripts using transformer model and machine learning classifiers. Neural Computing and Applications, 37 (1), 341–366. <https://doi.org/10.1007/s00521-024-10482-x>
8. Dhiman, P., Kaur, A., Gupta, D., Juneja, S., Nauman, A., Muhammad, G. (2024). GBERT: A hybrid deep learning model based on GPT-

- BERT for fake news detection. *Heliyon*, 10 (16), e35865. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35865>
9. Piña-García, C. A. (2025). In-context learning for propaganda detection on Twitter Mexico using large language model meta AI. *Telematics and Informatics Reports*, 19, 100232. <https://doi.org/10.1016/j.teler.2025.100232>
 10. Liu, Z., Zhang, T., Yang, K., Thompson, P., Yu, Z., Ananiadou, S. (2024). Emotion detection for misinformation: A review. *Information Fusion*, 107, 102300. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2024.102300>
 11. Hu, L., Wei, S., Zhao, Z., Wu, B. (2022). Deep learning for fake news detection: A comprehensive survey. *AI Open*, 3, 133–155. <https://doi.org/10.1016/j.aiopen.2022.09.001>
 12. Aimeur, E., Amri, S., Brassard, G. (2023). Fake news, disinformation and misinformation in social media: a review. *Social Network Analysis and Mining*, 13 (1). <https://doi.org/10.1007/s13278-023-01028-5>
 13. Barabash, O. V., Hryshchuk, R. V., Molodetska-Hrynychuk, K. V. (2018). Identification threats to the state information security in the text content of social networking services. *Science-Based Technologies*, 38 (2). <https://doi.org/10.18372/2310-5461.38.12855>
 14. Lande, D., Hyrda, V. (2024). Use of large language models to identify fake information. *Collection "Information Technology and Security"*, 12 (2), 236–242. <https://doi.org/10.20535/2411-1031.2024.12.2.315743>
 15. Strashnoy, L., Lande, D. (2024). Implementation Of The Concept Of A "Swarm Of Virtual Experts" In The Formation Of Semantic Networks In The Field Of Cybersecurity Based On Large Language Models. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4978924>
 16. Hryshchuk, R., Molodetska, K., Syerov, Y. (2019). Method of improving the information security of virtual communities in social networking services. *CEUR Workshop Proceedings*. Available at: <https://ceur-ws.org/Vol-2392/paper3.pdf>
 17. Abels, A., Lenaerts, T. (2025). Wisdom from Diversity: Bias Mitigation Through Hybrid Human-LLM Crowds. *Proceedings of the Thirty-Fourth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 321–329. <https://doi.org/10.24963/ijcai.2025/37>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.340258

ENHANCING RETRIEVAL PERFORMANCE IN SOCIAL MEDIA WITH CORPUS-BASED QUERY EXPANSION USING BIDIRECTIONAL ENCODER REPRESENTATIONS FROM TRANSFORMERS (p. 70–83)

Roberto Kaban

Universitas Sumatera Utara, Padang Bulan,
North Sumatera, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9785-8382>

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>

Maya Silvi Lydia

Universitas Sumatera Utara, Padang Bulan,
North Sumatera, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5779-5678>

This study focuses on a collection of tweets related to government services (e-government), which are preprocessed and transformed into a domain-specific corpus for query expansion. Conventional IR models struggle with unstructured and noisy content containing in-

formal language and abbreviations, which reduces retrieval accuracy. To overcome these issues, this study proposes a hybrid query expansion (QE) model named ROCBERT-QE, which combines corpus-based retrieval (CBR) with bidirectional encoder representations from transformers (BERT). The model applies dual expansion, using corpus-based co-occurrence frequencies to capture lexical relationships and BERT embeddings to preserve semantic context. A domain-specific corpus consisting of 5,017 preprocessed tweets related to Indonesia's National Health Insurance (BPJS) was constructed, encompassing 6,215 unique terms that represent linguistic variation and informality in public discourse. Experimental results demonstrate that ROCBERT-QE outperforms baseline retrieval methods such as TF-IDF, BM25, and standard BERT. For single-word queries, Recall reached 0.8574 and Precision 0.8807, while for sentence-level queries, Recall was 0.8932 and Precision 0.9175. The synergy of frequency-based and contextual expansion enables effective handling of lexical noise and semantic ambiguity. The results confirm the scientific potential of combining corpus-based and transformer-based approaches in IR tasks involving unstructured content. Practically, ROCBERT-QE can be applied for real-time analysis of citizen discourse in e-government contexts, such as service evaluation, policy feedback, and early detection of public issues. The framework is scalable and adaptable to other domains with informal or multilingual data characteristics.

Keywords: information retrieval, query expansion, corpus-based retrieval, BERT, social media, e-government.

References

1. Ghanem, F. A., Padma, M. C., Alkhatib, R. (2023). Automatic Short Text Summarization Techniques in Social Media Platforms. *Future Internet*, 15 (9), 311. <https://doi.org/10.3390/fi15090311>
2. Sharma, S., Panda, S. P. (2023). Efficient information retrieval model: overcoming challenges in search engines-an overview. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 32 (2), 925. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v32.i2.pp925-932>
3. Iamnitchi, A., Hall, L. O., Horawalavithana, S., Mubang, F., Ng, K. W., Skvoretz, J. (2023). Modeling information diffusion in social media: data-driven observations. *Frontiers in Big Data*, 6. <https://doi.org/10.3389/fdata.2023.1135191>
4. Benamara, F., Inkpen, D., Taboada, M. (2018). Introduction to the Special Issue on Language in Social Media: Exploiting Discourse and Other Contextual Information. *Computational Linguistics*, 44 (4), 663–681. https://doi.org/10.1162/coli_a_00333
5. Andreasen, T., Bordogna, G., Tré, G. D., Kacprzyk, J., Larsen, H. L., Zadrozny, S. (2024). The power and potentials of Flexible Query Answering Systems: A critical and comprehensive analysis. *Data & Knowledge Engineering*, 149, 102246. <https://doi.org/10.1016/j.datak.2023.102246>
6. Killingback, J., Zamani, H. (2025). Benchmarking Information Retrieval Models on Complex Retrieval Tasks. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2509.07253>
7. Allahim, A., Cherif, A., Imine, A. (2025). Semantic approaches for query expansion: taxonomy, challenges, and future research directions. *PeerJ Computer Science*, 11, e2664. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.2664>
8. Massai, L. (2024). Evaluation of semantic relations impact in query expansion-based retrieval systems. *Knowledge-Based Systems*, 283, 111183. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2023.111183>
9. Alshanik, F., Apon, A., Du, Y., Herzog, A., Safro, I. (2022). Proactive Query Expansion for Streaming Data Using External Sources. *2022 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, 701–708. <https://doi.org/10.1109/bigdata55660.2022.10020577>

10. Silva, S., Seara Vieira, A., Celard, P., Iglesias, E. L., Borrajo, L. (2021). A Query Expansion Method Using Multinomial Naive Bayes. *Applied Sciences*, 11 (21), 10284. <https://doi.org/10.3390/app112110284>
11. Chen, Z., Wang, J., Yang, X. (2022). A Concept Net-based semantic constraint method for query expansion. 2022 IEEE/WIC/ACM International Joint Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology (WI-IAT), 906–913. <https://doi.org/10.1109/wi-iat55865.2022.00147>
12. Xia, Y., Wu, J., Kim, S., Yu, T., Rossi, R. A., Wang, H., McAuley, J. (2025). Knowledge-Aware Query Expansion with Large Language Models for Textual and Relational Retrieval. *Proceedings of the 2025 Conference of the Nations of the Americas Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies (Volume 1: Long Papers)*, 4275–4286. <https://doi.org/10.18653/v1/2025.naacl-long.216>
13. Fan, Y., Xie, X., Cai, Y., Chen, J., Ma, X., Li, X., Zhang, R., Guo, J. (2022). Pre-training Methods in Information Retrieval. *IEEE Xplore*. <https://doi.org/10.1561/9781638280637>
14. Claveau, V. (2020). Query expansion with artificially generated texts. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2012.08787>
15. Kumar, R., Sharma, S. C. (2022). Hybrid optimization and ontology-based semantic model for efficient text-based information retrieval. *The Journal of Supercomputing*, 79 (2), 2251–2280. <https://doi.org/10.1007/s11227-022-04708-9>
16. Moreno-Ortiz, A., García-Gámez, M. (2023). Strategies for the Analysis of Large Social Media Corpora: Sampling and Keyword Extraction Methods. *Corpus Pragmatics*, 7 (3), 241–265. <https://doi.org/10.1007/s41701-023-00143-0>
17. Seo, W., An, H., Lee, S. (2025). A New Query Expansion Approach via Agent-Mediated Dialogic Inquiry. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.08557>
18. Shyrokykh, K., Girnyk, M., Dellmuth, L. (2023). Short text classification with machine learning in the social sciences: The case of climate change on Twitter. *PLOS ONE*, 18 (9), e0290762. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0290762>
19. Mutiarin, D., Wahyuni, H., Ismail, N. S. A., Kumorotomo, W. (2023). Social Media in Support of Indonesia's One Data Interoperability Process for Implementing Data Governance Policies. *E3S Web of Conferences*, 440, 03022. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202344003022>
20. Yulita, I. N., Al-Auza'i, A. F., Prabuwo, A. S., Sholahuddin, A., Ardiansyah, F., Sarathan, I., Djuyandi, Y. (2023). Bidirectional Long Short-Term Memory for Analysis of Public Opinion Sentiment on Government Policy During the COVID-19 Pandemic. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 14 (11). <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2023.0141189>
21. Wahyudi, W., Loilatu, M. J., Omrilio, O. (2024). Capturing Political Conversation: An Analysis of Public Response on Social Media during Indonesian Election. *Open Journal of Social Sciences*, 12 (09), 163–182. <https://doi.org/10.4236/jss.2024.129009>
22. Abdelazim, H., Tharwat, M., Mohamed, A. (2023). Semantic Embeddings for Arabic Retrieval Augmented Generation (ARAG). *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 14 (11). <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2023.01411135>
23. Faggioli, G. (2023). Modelling and Explaining IR System Performance Towards Predictive Evaluation. *ACM SIGIR Forum*, 57 (1), 1–2. <https://doi.org/10.1145/3636341.3636361>
24. Wang, Y., Huang, H., Feng, C. (2017). Query Expansion Based on a Feedback Concept Model for Microblog Retrieval. *Proceedings of the 26th International Conference on World Wide Web*, 559–568. <https://doi.org/10.1145/3038912.3052710>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.335473

FORMALIZATION OF TEXT PROMPTS TO ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS (p. 84–97)

Vladyslav Oliinyk

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5584-1531>

Andrii Biziuk

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9830-9206>

Zhanna Deineko

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

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

Viktor Chelombitko

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6677-5883>

This study's object is the process that formalizes text prompts to large language models of artificial intelligence for the purpose of automatically generating action cards for hexagonal tabletop wargames. The task relates to the ambiguity (42% of terms are misinterpreted), contextual incompleteness (37%), and syntactic variability (21%) of natural language prompts, resulting in unhelpful and unpredictable responses.

To address this problem, a conceptual-practical model has been proposed, which combines structured prompt templates, a localized glossary of key terms, as well as clear instructions on response format.

Practical verification was carried out by generating a set of action cards for solo wargames on modern large language models by generating over 100 prompts and analyzing more than 300 responses. The experiments demonstrated that the formalized prompts reduced the total error rate by 58%, as well as increased the relevance of responses from 55–65% to 88–92%. The average time for preparing prompts was reduced by 25–40%. The “d6-table” templates ensured the stability of the output format in 90–95% of cases while JSON structures provided stability in 85–90% of cases. The glossary and structure definition integrated into the prompts minimized semantic discrepancies and syntactic errors.

A special feature of the proposed template structures for prompts is adaptability to different subject areas through the use of a description language specific to each of these areas. The research results have practical value for automating game content development processes and could be adapted for other subject areas where accuracy, consistency, and structure of language model responses are important.

The proposed systematic approach facilitates the automation of complex content development with a guaranteed increase in the quality and predictability of responses from large language models.

Keywords: prompt formalization, large language models, artificial intelligence, structured templates, wargames.

References

1. Poola, I. (2023). Overcoming ChatGPTs inaccuracies with Pre-Trained AI Prompt Engineering Sequencing Process. *International Journal of Technology and Emerging Sciences*, 3 (3), 16–19. Available at: https://www.researchgate.net/profile/Indrasen-Poola/publication/374153552_Overcoming_ChatGPTs_inaccuracies_with_Pre-Trained_AI_Prompt_Engineering_Sequencing_Process/links/65109c34c05e6d1b1c2d6ae9/Overcoming-ChatGPTs-inaccuracies-with-Pre-Trained-AI-Prompt-Engineering-Sequencing-Process.pdf
2. Prompt engineering. OpenAI. Available at: <https://platform.openai.com/docs/guides/text#prompt-engineering>

3. Diab, M., Herrera, J., Chernow, B., Chernow, B., Mao, C. (2022). Stable Diffusion Prompt Book. OpenArt. Available at: <https://cdn.openart.ai/assets/Stable%20Diffusion%20Prompt%20Book%20From%20Open-Art%2011-13.pdf>
4. Shah, C. (2025). From Prompt Engineering to Prompt Science with Humans in the Loop. *Communications of the ACM*. <https://doi.org/10.1145/3709599>
5. Kojima, T., Gu, S. S., Reid, M., Matsuo, Y., Iwasawa, Y. (2022). Large Language Models are Zero-Shot Reasoners. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2205.11916>
6. Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N. et al. (2017). Attention Is All You Need. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1706.03762>
7. Liu, P., Yuan, W., Fu, J., Jiang, Z., Hayashi, H., Neubig, G. (2023). Pre-train, Prompt, and Predict: A Systematic Survey of Prompting Methods in Natural Language Processing. *ACM Computing Surveys*, 55 (9), 1–35. <https://doi.org/10.1145/3560815>
8. Wei, J., Zhou, D. (2022). Language Models Perform Reasoning via Chain of Thought. Google Research. Available at: <https://research.google/blog/language-models-perform-reasoning-via-chain-of-thought/>
9. Zaghir, J., Naguib, M., Bjelogrić, M., Névél, A., Tannier, X., Lovis, C. (2024). Prompt Engineering Paradigms for Medical Applications: Scoping Review. *Journal of Medical Internet Research*, 26, e60501. <https://doi.org/10.2196/60501>
10. Pawar, V., Gawande, M., Kollu, A., Bile, A. S. (2024). Exploring the Potential of Prompt Engineering: A Comprehensive Analysis of Interacting with Large Language Models. 2024 8th International Conference on Computing, Communication, Control and Automation (ICCUBEA), 1–9. <https://doi.org/10.1109/iccubea61740.2024.10775016>
11. Prompt engineering: overview and guide. Google Cloud. Available at: <https://cloud.google.com/discover/what-is-prompt-engineering>
12. Sui, Y., Zhou, M., Zhou, M., Han, S., Zhang, D. (2024). Table Meets LLM: Can Large Language Models Understand Structured Table Data? A Benchmark and Empirical Study. *Proceedings of the 17th ACM International Conference on Web Search and Data Mining*, 645–654. <https://doi.org/10.1145/3616855.3635752>
13. Crabtree, M. (2024). What is Prompt Engineering? A Detailed Guide For 2025. DataCamp. Available at: <https://www.datacamp.com/blog/what-is-prompt-engineering-the-future-of-ai-communication>
14. Kryazhych, O., Vasenko, O., Isak, L., Babak, O., Grytsyshyn, V. (2024). Method of constructing requests to chat-bots on the base of artificial intelligence. *International Scientific Technical Journal «Problems of Control and Informatics»*, 69 (2), 84–96. <https://doi.org/10.34229/1028-0979-2024-2-7>
15. Wang, D. Y.-B., Shen, Z., Mishra, S. S., Xu, Z., Teng, Y., Ding, H. (2025). SLOT: Structuring the Output of Large Language Models. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2505.04016>
16. Shorten, C., Pierse, C., Smith, T. B., Cardenas, E., Sharma, A., Trengrove, J., van Luijt, B. (2024). StructuredRAG: JSON Response Formatting with Large Language Models. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2408.11061>
17. Tang, X., Zong, Y., Phang, J., Zhao, Y., Zhou, W., Cohan, A., Gerstein, M. (2024). Struc-Bench: Are Large Language Models Good at Generating Complex Structured Tabular Data? *Proceedings of the 2024 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies (Volume 2: Short Papers)*, 12–34. <https://doi.org/10.18653/v1/2024.naacl-short.2>
18. Sasaki, Y., Washizaki, H., Li, J., Yoshioka, N., Ubayashi, N., Fukazawa, Y. (2025). Landscape and Taxonomy of Prompt Engineering Patterns in Software Engineering. *IT Professional*, 27 (1), 41–49. <https://doi.org/10.1109/mitp.2024.3525458>
19. Cotroneo, P., Hutson, J. (2023). Generative AI tools in art education: Exploring prompt engineering and iterative processes for enhanced creativity. *Metaverse*, 4 (1), 14. <https://doi.org/10.54517/m.v4i1.2164>
20. Hau, K., Hassan, S., Zhou, S. (2025). LLMs in Mobile Apps: Practices, Challenges, and Opportunities. 2025 IEEE/ACM 12th International Conference on Mobile Software Engineering and Systems (MOBILESoft), 3–14. <https://doi.org/10.1109/mobilesoft66462.2025.00008>
21. Sharma, R. K., Gupta, V., Grossman, D. (2024). SPML: A DSL for Defending Language Models Against Prompt Attacks. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2402.11755>
22. Mountantonakis, M., Tzitzikas, Y. (2025). Generating SPARQL Queries over CIDOC-CRM Using a Two-Stage Ontology Path Patterns Method in LLM Prompts. *Journal on Computing and Cultural Heritage*, 18 (1), 1–20. <https://doi.org/10.1145/3708326>
23. Wang, Z., Chakravarthy, A., Munechika, D., Chau, D. H. (2024). Wordflow: Social Prompt Engineering for Large Language Models. *Proceedings of the 62nd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 3: System Demonstrations)*, 42–50. <https://doi.org/10.18653/v1/2024.acl-demos.5>
24. Desmond, M., Brachman, M. (2024). Exploring Prompt Engineering Practices in the Enterprise. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2403.08950>
25. Garcia, M. C., Bondoc, B. C. (2024). Mastering the art of technical writing in it: Making complex things easy to understand in Atate campus. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 22 (1), 571–579. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.22.1.1020>
26. Developing AI Literacy With People Who Have Low Or No Digital Skills (2024). Good Things Foundation. Available at: <https://www.goodthingsfoundation.org/policy-and-research/research-and-evidence/research-2024/ai-literacy>
27. Garg, A., Rajendran, R. (2024). The Impact of Structured Prompt-Driven Generative AI on Learning Data Analysis in Engineering Students. *Proceedings of the 16th International Conference on Computer Supported Education*, 270–277. <https://doi.org/10.5220/0012693000003693>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.340492

DETERMINING THE EFFECTIVENESS OF GPT-4.1-MINI FOR MULTICLASS TEXT CATEGORIZATION (p. 98–106)**Yurii Voloshchuk**

Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9999-3827>**Oleksandr Mitsa**

Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6958-0870>

The object of this study is the process of multiclass automatic categorization of user queries using large language models under the conditions of a language transition from English to Ukrainian.

The scientific task relates to the fact that most modern large language models (LLMs) are optimized for English while their effectiveness for morphologically complex and low-resource languages, particularly Ukrainian, remains insufficiently studied.

In this work, an experimental approach was devised and implemented to evaluate the transferability of the GPT-4.1-mini model from English to Ukrainian in the task to categorize 11,047 user queries spanning nine applied domains. The analysis employed conventional metrics (Recall, Precision, Weighted-F₁, Macro-F₁) alongside a

novel indicator, the Uncertainty/Error Rate (U/E), which captures the proportion of model refusals and “hallucinations.”

The findings demonstrate that the highest quality was achieved on the English dataset (Macro- $F_1 = 69.78\%$, U/E = 0.05%). When Ukrainian prompts were applied, Macro- F_1 decreased to 63.73%; however, the U/E equaled 0%, indicating higher reliability of responses. Using English prompts with Ukrainian-language data preserved nearly the same level of accuracy (Macro- $F_1 = 69.66\%$), thereby revealing strong internal translation and generalization mechanisms.

The novelty of this study is attributed to the use of a large multidomain parallel corpus, the systematic comparison of prompts in two languages, the application of the state-of-the-art model GPT-4.1-mini, and the introduction of the U/E metric as a reliability criterion. The proposed approach demonstrates the feasibility of applying GPT-4.1-mini to Ukrainian-language information services without additional training, particularly for automatic query routing in financial, medical, legal, and other domains.

Keywords: data analysis, large language model, GPT-4.1-mini, text categorization, multilingual evaluation, the Ukrainian language.

References

- Huang, J., Xu, Y., Wang, Q., Wang, Q. (Cheems), Liang, X., Wang, F. et al. (2025). Foundation models and intelligent decision-making: Progress, challenges, and perspectives. *The Innovation*, 6 (6), 100948. <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2025.100948>
- Doddapaneni, S., Ramesh, G., Khapra, M., Kunchukuttan, A., Kumar, P. (2025). A Primer on Pretrained Multilingual Language Models. *ACM Computing Surveys*, 57 (9), 1–39. <https://doi.org/10.1145/3727339>
- Yermolenko, S. (2019). From the history of Ukrainian stylistics: from stylistics of languages to integrative stylistics. *Ukrainska Mova*, 1, 3–17. <https://doi.org/10.15407/ukrmova2019.01.003>
- Zakon Ukrainy «Pro zabezpechennia funktsionuvannia ukrainskoi movy yak derzhavnoi» No. 2704-VIII. Verkhovna Rada Ukrainy. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2704-19>
- Syromiatnikov, M. V., Ruvinskaya, V. M., Troynina, A. S. (2024). ZNO-Eval: Benchmarking reasoning capabilities of large language models in Ukrainian. *Informatics. Culture. Technology*, 1 (1), 186–191. <https://doi.org/10.15276/ict.01.2024.27>
- Mitsa, O., Voloshchuk, Y., Levchuk, O., Petsko, V. (2025). A Comparative Study of Machine Learning Algorithms and the Prompting Approach Using GPT-3.5 Turbo for Text Categorization. *Advances in Computer Science for Engineering and Education VII*, 156–167. https://doi.org/10.1007/978-3-031-84228-3_13
- Voloshchuk, Y. O., Mitsa, O. V. (2024). Comparison of text categorization efficiency using the prompting approach with GPT-3.5-turbo and GPT-4-turbo. *Science and Technology Today*, 6 (34), 768–777. [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-6\(34\)-768-777](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-6(34)-768-777)
- Garrachón Ruiz, A., de La Rosa, T., Borrajo, D. (2025). TRIM: Token Reduction and Inference Modeling for Cost-Effective Language Generation. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2412.07682>
- Chen, L., Zaharia, M., Zou, J. (2024). FrugalGPT: How to use large language models while reducing cost and improving performance. *Transactions on Machine Learning Research*. Available at: <https://openreview.net/forum?id=cSimKw5p6R>
- Wang, Z., Pang, Y., Lin, Y., Zhu, X. (2024). Adaptable and Reliable Text Classification using Large Language Models. 2024 IEEE International Conference on Data Mining Workshops (ICDMW), 67–74. <https://doi.org/10.1109/icdmw65004.2024.00015>
- Panchenko, D., Maksymenko, D., Turuta, O., Yerokhin, A., Daniil, Y., Turuta, O. (2022). Evaluation and Analysis of the NLP Model Zoo for Ukrainian Text Classification. *Information and Communication Technologies in Education, Research, and Industrial Applications*, 109–123. https://doi.org/10.1007/978-3-031-20834-8_6
- Panchenko, D., Maksymenko, D., Turuta, O., Luzan, M., Tytarenko, S., Turuta, O. (2022). Ukrainian News Corpus as Text Classification Benchmark. *ICTERI 2021 Workshops*, 550–559. https://doi.org/10.1007/978-3-031-14841-5_37
- Wang, Y., Wang, W., Chen, Q., Huang, K., Nguyen, A., De, S. (2024). Zero-shot text classification with knowledge resources under label-fully-unseen setting. *Neurocomputing*, 610, 128580. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2024.128580>
- Ulčar, M., Žagar, A., Armendariz, C. S., Repar, A., Pollak, S., Purver, M., Robnik-Šikonja, M. (2026). Mono- and cross-lingual evaluation of representation language models on less-resourced languages. *Computer Speech & Language*, 95, 101852. <https://doi.org/10.1016/j.csl.2025.101852>
- Han, B., Yang, S. T., LuVogt, C. (2025). Cross-Lingual Text Classification with Large Language Models. *Companion Proceedings of the ACM on Web Conference 2025*, 1005–1008. <https://doi.org/10.1145/3701716.3715567>
- Lai, V., Ngo, N., Pourn Ben Veyseh, A., Man, H., Dernoncourt, F., Bui, T., Nguyen, T. (2023). ChatGPT Beyond English: Towards a Comprehensive Evaluation of Large Language Models in Multilingual Learning. *Findings of the Association for Computational Linguistics: EMNLP 2023*. <https://doi.org/10.18653/v1/2023.findings-emnlp.878>
- Prytula, M. (2024). Fine-tuning BERT, DistilBERT, XLM-RoBERTa and Ukr-RoBERTa models for sentiment analysis of Ukrainian language reviews. *Artificial Intelligence*, 2, 85–97. <https://doi.org/10.15407/jai2024.02.085>
- Dementieva, D., Khylenko, V., Groh, G. (2025). Cross-lingual text classification transfer: The case of Ukrainian. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2404.02043>
- Hamotskyi, I., Levbarg, A., Hänig, C. (2024). Eval-UA-tion 1.0: Benchmark for Evaluating Ukrainian (Large) Language Models. *UNLP 2024*. Available at: <https://hal.science/hal-04534651v2>
- Voloshchuk, Yu., Mitsa, O. (2024). Otsinka stabilnosti rezultativ katehoryzatsiyi tekstu z vykorystanniam prompting pidkhodu z velykymy movnymy modeliamy. *Materialy konferentsii MTsND*. <https://doi.org/10.62731/mcnd-21.06.2024.002>
- GPT-4.1. OpenAI. Available at: <https://openai.com/index/gpt-4-1/>
- Pricing. OpenAI. Available at: <https://platform.openai.com/docs/pricing>
- Voloshchuk, Yu., Mitsa, O. (2024). Porivniannia prompting pidkhodiv z vykorystanniam gpt 4-turbo dlia tekstovoi katehoryzatsiyi. *Materialy konferentsii MTsND*. <https://doi.org/10.62731/mcnd-14.06.2024.006>
- Ahia, O., Kumar, S., Gonen, H., Kasai, J., Mortensen, D., Smith, N., Tsvetkov, Y. (2023). Do All Languages Cost the Same? Tokenization in the Era of Commercial Language Models. *Proceedings of the 2023 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, 9904–9923. <https://doi.org/10.18653/v1/2023.emnlp-main.614>
- Li, X., Zhang, K. (2025). Heterogeneous Graph Neural Network with Multi-View Contrastive Learning for Cross-Lingual Text Classification. *Applied Sciences*, 15 (7), 3454. <https://doi.org/10.3390/app15073454>
- Gui, A., Xiao, H. (2024). Multi-level multilingual semantic alignment for zero-shot cross-lingual transfer learning. *Neural Networks*, 173, 106217. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2024.106217>
- Huang, K., Shi, Y., Ding, D., Li, Y., Fei, Y., Lakshmanan, L., Xiao, X. (2025). ThriftLLM: On Cost-Effective Selection of Large Language Models for Classification Queries. *Proceedings of the VLDB Endowment*, 18 (11), 4410–4423. <https://doi.org/10.14778/3749646.3749702>
- Mitsa, O., Sharkan, V., Maksymchuk, V., Varha, S., Shkurko, H. (2023). Ethnocultural, Educational and Scientific Potential of the Interactive

Dialects Map. 2023 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST), 226–231. <https://doi.org/10.1109/sist58284.2023.10223544>

29. Kotsovsky, V. (2024). Learning of Multi-valued Multithreshold Neural Units. Proceedings of the 8th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems. Volume III: Intelligent Systems Workshop. <https://doi.org/10.31110/colins/2024-3/004>
30. Kotsovsky, V., Batyuk, A. (2024). Towards the Design of Bithreshold ANN Regressor. 2024 IEEE 19th International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT), 1–4. <https://doi.org/10.1109/csit65290.2024.10982560>
31. Kotsovsky, V. (2025). Multithreshold neurons with smoothed activation functions. Proceedings of the Intelligent Systems Workshop at 9th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems (CoLInS-2025). <https://doi.org/10.31110/colins/2025-2/007>
32. Lupei, M., Mitsa, O., Sharkan, V., Vargha, S., Gorbachuk, V. (2022). The Identification of Mass Media by Text Based on the Analysis of Vocabulary Peculiarities Using Support Vector Machines. 2022 International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST), 1–6. <https://doi.org/10.1109/sist54437.2022.9945774>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.340758

Identifying the impact of forecast errors and flexibility preferences in decision support for optimal day-ahead prosumer operational planning (p. 107–121)

Oleh Lukianykhin

Sumy State University, Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4211-2401>

Vira Shendryk

Sumy State University, Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8325-3115>

The object of the study is operational planning in decision support systems (DSSs) for prosumers. The study addresses a lack of explicit flexibility modeling in DSSs and a limited understanding of how forecast quality impacts planning results.

A novel control module for short-term planning of flexible energy demand and battery dispatch in prosumers is presented. The proposed solution improves prosumers' information support by integrating consumption and generation forecasts, user-defined flexibility preferences, and battery constraints to reduce operational costs and increase profit from energy sales via optimal planning. Unlike methods that obscure decision logic, the module enables explicit flexibility modeling, enhancing transparency and better reflecting individual behaviors. Validation using real-world data across diverse prosumer segments confirms the module's robustness and effectiveness in achieving cost savings.

The module maintained positive cost improvements under realistic and extreme forecast errors (up to 75%) across most flexibility settings, with performance influenced by forecast accuracy and flexibility configuration. A linear dependency was found between forecast error and cost savings. In rare edge cases – very low flexibility and high forecast error – the control plans led to underperformance. Increasing flexibility relaxes accuracy requirements, highlighting an important trade-off. Higher flexibility led to stronger initial performance but faster degradation as forecast errors increased. Lower flexibility setups declined more slowly but were more prone to underperformance in edge conditions.

These findings offer practical insights into flexibility modeling and forecast error tolerance, enabling improved planning and control design for prosumers.

Keywords: decision support system, prosumers, photovoltaics, operational planning, forecast error.

References

1. Lopes, J. A. P., Madureira, A. G., Matos, M., Bessa, R. J., Monteiro, V., Afonso, J. L. et al. (2019). The future of power systems: Challenges, trends, and upcoming paradigms. *WIREs Energy and Environment*, 9 (3). <https://doi.org/10.1002/wene.368>
2. Gržanić, M., Capuder, T., Zhang, N., Huang, W. (2022). Prosumers as active market participants: A systematic review of evolution of opportunities, models and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 154, 111859. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111859>
3. Alam, Md. S., Al-Ismail, F. S., Salem, A., Abido, M. A. (2020). High-Level Penetration of Renewable Energy Sources Into Grid Utility: Challenges and Solutions. *IEEE Access*, 8, 190277–190299. <https://doi.org/10.1109/access.2020.3031481>
4. Shafiullah, M., Ahmed, S. D., Al-Sulaiman, F. A. (2022). Grid Integration Challenges and Solution Strategies for Solar PV Systems: A Review. *IEEE Access*, 10, 52233–52257. <https://doi.org/10.1109/access.2022.3174555>
5. Mišljenović, N., Žnidarec, M., Knežević, G., Šljivac, D., Sumper, A. (2023). A Review of Energy Management Systems and Organizational Structures of Prosumers. *Energies*, 16 (7), 3179. <https://doi.org/10.3390/en16073179>
6. Pöhler, J., Flegel, N., Mentler, T., Van Laerhoven, K. (2025). Keeping the human in the loop: are autonomous decisions inevitable? *I-Com*, 24 (1), 9–25. <https://doi.org/10.1515/icom-2024-0068>
7. Marot, A., Rozier, A., Dussartre, M., Crochepierre, L., Donnot, B. (2022). Towards an AI Assistant for Power Grid Operators. *HHAI2022: Augmenting Human Intellect*. <https://doi.org/10.3233/faia220191>
8. Donida Labati, R., Genovese, A., Piuri, V., Scotti, F., Sforza, G. (2020). A Decision Support System for Wind Power Production. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 50 (1), 290–304. <https://doi.org/10.1109/tsmc.2017.2783681>
9. Krueger, H., Cruden, A. (2020). Integration of electric vehicle user charging preferences into Vehicle-to-Grid aggregator controls. *Energy Reports*, 6, 86–95. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.02.031>
10. Lukianykhin, O., Shendryk, V. (2025). Use of generative artificial intelligence to improve output message effectiveness in decision support systems for prosumers. *Technology Audit and Production Reserves*, 4 (2 (84)), 13–23. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.333726>
11. Fotopoulou, M., Rakopoulos, D., Petridis, S. (2022). Decision Support System for Emergencies in Microgrids. *Sensors*, 22 (23), 9457. <https://doi.org/10.3390/s22239457>
12. Iria, J., Soares, F. (2019). A cluster-based optimization approach to support the participation of an aggregator of a larger number of prosumers in the day-ahead energy market. *Electric Power Systems Research*, 168, 324–335. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2018.11.022>
13. Mayadevi N., Vinod Chandra S. S., Ushakumari, S. (2014). A Review on Expert System Applications in Power Plants. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 4 (1). <https://doi.org/10.11591/ijece.v4i1.5025>
14. Lukianykhin, O., Shendryk, V., Shendryk, S., Malekian, R. (2024). Promising AI Applications in Power Systems: Explainable AI (XAI), Transformers, LLMs. *New Technologies, Development and Application VII*, 66–76. https://doi.org/10.1007/978-3-031-66271-3_8
15. Bose, B. K. (2017). Artificial Intelligence Techniques in Smart Grid and Renewable Energy Systems – Some Example Applications. *Proceedings of the IEEE*, 105 (11), 2262–2273. <https://doi.org/10.1109/jproc.2017.2756596>

16. Lukianykhin, O., Bogodorova, T. (2021). Voltage Control-Based Ancillary Service Using Deep Reinforcement Learning. *Energies*, 14 (8), 2274. <https://doi.org/10.3390/en14082274>
17. Qi, B., Liang, J., Tong, J. (2023). Fault Diagnosis Techniques for Nuclear Power Plants: A Review from the Artificial Intelligence Perspective. *Energies*, 16 (4), 1850. <https://doi.org/10.3390/en16041850>
18. Panapakidis, I. P., Koltsaklis, N. E., Christoforidis, G. C. (2021). Forecasting Methods to Support the Decision Framework of Prosumers in Deregulated Markets. 2021 9th International Conference on Modern Power Systems (MPS), 1–5. <https://doi.org/10.1109/mps52805.2021.9492725>
19. Benti, N. E., Chaka, M. D., Semie, A. G. (2023). Forecasting Renewable Energy Generation with Machine Learning and Deep Learning: Current Advances and Future Prospects. *Sustainability*, 15 (9), 7087. <https://doi.org/10.3390/su15097087>
20. Teixeira, R., Cerveira, A., Pires, E. J. S., Baptista, J. (2024). Advancing Renewable Energy Forecasting: A Comprehensive Review of Renewable Energy Forecasting Methods. *Energies*, 17 (14), 3480. <https://doi.org/10.3390/en17143480>
21. Xie, Y., Li, C., Li, M., Liu, F., Taukenova, M. (2023). An overview of deterministic and probabilistic forecasting methods of wind energy. *IScience*, 26 (1), 105804. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.105804>
22. Lukianykhin, O., Shendryk, V. (2025). Machine learning-driven photovoltaic generation forecasting for prosumer decision support. *Artificial Intelligence*, 30 (AI.2025.30 (1)), 107–119. <https://doi.org/10.15407/jai2025.01.107>
23. Karagiannopoulos, S., Aristidou, P., Hug, G. (2019). Data-Driven Local Control Design for Active Distribution Grids Using Off-Line Optimal Power Flow and Machine Learning Techniques. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 10 (6), 6461–6471. <https://doi.org/10.1109/tsg.2019.2905348>
24. Linan-Reyes, M., Garrido-Zafra, J., Gil-de-Castro, A., Moreno-Munoz, A. (2021). Energy Management Expert Assistant, a New Concept. *Sensors*, 21 (17), 5915. <https://doi.org/10.3390/s21175915>
25. Langtry, M., Wichitwechkarn, V., Ward, R., Zhuang, C., Kreitmair, M. J., Makasis, N. et al. (2024). Impact of data for forecasting on performance of model predictive control in buildings with smart energy storage. *Energy and Buildings*, 320, 114605. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114605>
26. Pineda, S., Morales, J. M., Boomsma, T. K. (2016). Impact of forecast errors on expansion planning of power systems with a renewables target. *European Journal of Operational Research*, 248 (3), 1113–1122. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.08.011>
27. Matthijs, B., Momenifarhani, A., Ohnmeiss, K., Felderx, M. (2018). Influence of Demand and Generation Uncertainty on the Operational Efficiency of Smart Grids. 2018 7th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), 751–756. <https://doi.org/10.1109/icrera.2018.8566733>
28. Eljand, K., Laid, M., Scellier, J.-B., Dane, S., Demkin, M., Howard, A. (2023). Enefit – Predict energy behavior of prosumers. Kaggle. Available at: <https://kaggle.com/competitions/predict-energy-behavior-of-prosumers>
29. Virtanen, P., Gommers, R., Oliphant, T. E., Haberland, M., Reddy, T., Cournapeau, D. et al. (2020). SciPy 1.0: fundamental algorithms for scientific computing in Python. *Nature Methods*, 17 (3), 261–272. <https://doi.org/10.1038/s41592-019-0686-2>
30. Knap, V., Molhanec, M., Gismero, A., Stroe, D.-I. (2021). Calendar Degradation and Self-Discharge Occurring During Short- and Long-Term Storage of NMC Based Lithium-Ion Batteries. *ECS Transactions*, 105 (1), 3–11. <https://doi.org/10.1149/10501.0003ecst>
31. Kumar, M. (2023). Comparison on study of lithium ion and lead acid charging and discharging characteristics. *International Sci-*

entific Journal of Engineering and Management, 02 (03). <https://doi.org/10.55041/isjem00163>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.338565

IMPROVING THE EFFICIENCY OF GREENHOUSE CONTROL BY USING A MARKOV DECISION-MAKING PROCESS MODEL (p. 122–135)

Andrii Biloshchytskyi

Astana IT University, Astana, Republic of Kazakhstan
Kyiv National University of Construction and Architecture,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9548-1959>

Yurii Andrashko

Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2306-8377>

Oleksandr Kuchanskyi

Astana IT University, Astana, Republic of Kazakhstan
Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1277-8031>

Alexandr Neftissov

Astana IT University, Astana, Republic of Kazakhstan
Academy of Physical Education and Mass Sports,
Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4079-2025>

Myroslava Gladka

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine
National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv
Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5233-2021>

Volodymyr Vatskel

Kyiv National University of Construction and Architecture,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5662-4523>

Sofia Berdei

Refugee & Immigrant Services Northwest, Everett,
United States of America

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3006-829X>

The object of this paper is the process of greenhouse control. The study solves the task of rational greenhouse control based on the Markov decision-making process taking into account two-level optimization. A random Markov decision-making process has been defined for the problem of greenhouse operation improvement.

A greenhouse control model was built, which makes it possible to determine rational microclimate parameters to grow agricultural crops. To validate the greenhouse control model, real data from an experiment on growing strawberries in a greenhouse complex were used.

Observations lasted from May 17 to June 8, 2025. Monitoring of microclimate parameters was carried out around the clock with an interval of 1 minute, which ensured high accuracy of the analysis. The experimental scenario included three irrigation circuits, a heating system, LED lighting, ventilation, and CO₂ monitoring.

The proposed approach to greenhouse management based on the Markov decision-making process model demonstrates high practical value, especially in the context of growing sensitive crops such as strawberries. The simulation shows that the implementation of two-level optimization in autonomous greenhouse control systems could provide an increase in yield by 10.15%. At the same time, due to the significant volume of the greenhouse and the high thermal inertia of the structures, the actual values of the microcli-

mate parameters deviate from the rational ones by 10–15%, as a result of which the calculated yield increase for the model built is about 7%.

Keywords: greenhouse microclimate, two-level optimization, stochastic Markov decision-making process, precision agriculture, control problem.

References

- Sulser, T., Wiebe, K. D., Dunston, S., Cenacchi, N., Nin-Pratt, A., Mason-D'Croz, D. et al. (2021). Climate Change and hunger: Estimating costs of adaptation in the agrifood system. International Food Policy Research Institute. <https://doi.org/10.2499/9780896294165>
- Kazakhstan. Climate Change Knowledge Portal. Available at: <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/kazakhstan/climate-data-historical>
- Visser, S., Keesstra, S., Maas, G., de Cleen, M., Molenaar, C. (2019). Soil as a Basis to Create Enabling Conditions for Transitions Towards Sustainable Land Management as a Key to Achieve the SDGs by 2030. Sustainability, 11 (23), 6792. <https://doi.org/10.3390/su11236792>
- Muhie, S. H. (2022). Novel approaches and practices to sustainable agriculture. Journal of Agriculture and Food Research, 10, 100446. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100446>
- Okolie, C. C., Danso-Abbeam, G., Groupson-Paul, O., Ogundej, A. A. (2022). Climate-Smart Agriculture Amidst Climate Change to Enhance Agricultural Production: A Bibliometric Analysis. Land, 12 (1), 50. <https://doi.org/10.3390/land12010050>
- Kazancoglu, Y., Lafci, C., Kumar, A., Luthra, S., Garza-Reyes, J. A., Berberoglu, Y. (2023). The role of agri-food 4.0 in climate-smart farming for controlling climate change-related risks: A business perspective analysis. Business Strategy and the Environment, 33 (4), 2788–2802. <https://doi.org/10.1002/bse.3629>
- Zhang, N., Wang, M., Wang, N. (2002). Precision agriculture – a world-wide overview. Computers and Electronics in Agriculture, 36 (2-3), 113–132. [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(02\)00096-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(02)00096-0)
- Loures, L., Chamizo, A., Ferreira, P., Loures, A., Castanho, R., Panagopoulos, T. (2020). Assessing the Effectiveness of Precision Agriculture Management Systems in Mediterranean Small Farms. Sustainability, 12 (9), 3765. <https://doi.org/10.3390/su12093765>
- Sparks, B. D. (2018). What Is the Current State of Labor in the Greenhouse Industry? Available at: <https://www.greenhousegrower.com/management/what-is-the-current-state-of-labor-in-the-greenhouse-industry/>
- Cao, X., Yao, Y., Li, L., Zhang, W., An, Z., Zhang, Z. et al. (2022). iGrow: A Smart Agriculture Solution to Autonomous Greenhouse Control. Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence, 36 (11), 11837–11845. <https://doi.org/10.1609/aaai.v36i11.21440>
- Badji, A., Benseddik, A., Bensaha, H., Boukhelifa, A., Hasrane, I. (2022). Design, technology, and management of greenhouse: A review. Journal of Cleaner Production, 373, 133753. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133753>
- Choab, N., Allouhi, A., El Maakoul, A., Kousksou, T., Saadeddine, S., Jamil, A. (2019). Review on greenhouse microclimate and application: Design parameters, thermal modeling and simulation, climate controlling technologies. Solar Energy, 191, 109–137. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.08.042>
- Voogt, J., van Weel, P. (2008). Climate control based on stomatal behavior in a semi-closed greenhouse system “Aircokas.” Acta Horticulturae, 797, 151–156. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2008.797.19>
- Robles Algarín, C., Callejas Cabarcas, J., Polo Llanos, A. (2017). Low-Cost Fuzzy Logic Control for Greenhouse Environments with Web Monitoring. Electronics, 6 (4), 71. <https://doi.org/10.3390/electronics6040071>
- Noma, F., Babu, S. (2024). Predicting climate smart agriculture (CSA) practices using machine learning: A prime exploratory survey. Climate Services, 34, 100484. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2024.100484>
- Jones, J. W., Hoogenboom, G., Porter, C. H., Boote, K. J., Batchelor, W. D., Hunt, L. A. et al. (2003). The DSSAT cropping system model. European Journal of Agronomy, 18 (3-4), 235–265. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00107-7](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00107-7)
- Mekala, M. S., Viswanathan, P. (2017). A Survey: Smart agriculture IoT with cloud computing. 2017 International Conference on Microelectronic Devices, Circuits and Systems (ICMDCS), 1–7. <https://doi.org/10.1109/icmdcs.2017.8211551>
- van Beveren, P. J. M., Bontsema, J., van Straten, G., van Henten, E. J. (2015). Optimal control of greenhouse climate using minimal energy and grower defined bounds. Applied Energy, 159, 509–519. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.09.012>
- Parameswaran, G., Sivaprasath, K. (2016). Arduino based smart drip irrigation system using Internet of Things. International Journal of Engineering Science and Computing, 6 (5), 5518–5521.
- Platero-Horcadadas, M., Pardo-Pina, S., Cámara-Zapata, J.-M., Brenes-Carranza, J.-A., Ferrández-Pastor, F.-J. (2024). Enhancing Greenhouse Efficiency: Integrating IoT and Reinforcement Learning for Optimized Climate Control. Sensors, 24 (24), 8109. <https://doi.org/10.3390/s24248109>
- Vatskel, V., Kuchanskyi, O., Andrashko, Y. (2025). Strawberry Greenhouse Environmental Control Dataset. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.16268298>
- Cordwell, S. (2015). Markov Decision Process (MDP) Toolbox for Python. GitHub. Available at: <https://github.com/sawcordwell/pymdptoolbox>
- Nguyen, N. M., Tran, H. T., Duong, M. V., Bui, H., Tran, K. (2022). Differentiable physics-based greenhouse simulation. NeurIPS 2022 Workshop on Machine Learning and the Physical Sciences. Available at: https://ml4physicalsciences.github.io/2022/files/NeurIPS_ML4PS_2022_52.pdf
- Neftissov, A., Biloshchytskyi, A., Andrashko, Y., Vatskel, V., Toxanov, S., Gladka, M. (2024). Assessing the efficiency of using precision farming technology and remote monitoring of weather conditions in the activities of agricultural enterprises. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (13 (130)), 84–94. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.309028>
- Neftissov, A., Biloshchytskyi, A., Andrashko, Y., Kuchanskyi, O., Vatskel, V., Toxanov, S., Gladka, M. (2024). Evaluating the effectiveness of precision farming technologies in the activities of agricultural enterprises. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (13 (127)), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298478>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.338096

РОЗРОБКА МУЛЬТИМОДАЛЬНОЇ ПОВНІСТЮ КЕРОВАНОЇ СИСТЕМИ УВАГИ (ММ-ПКСУ) ДЛЯ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОГО ВІЯВЛЕННЯ ПОВЕНЕЙ (с. 6–17)

Neni Mulyani, Anjar Wanto, Jhonson Efendi Hutagalung

Повені є одними з найчастіших гідрометеорологічних катастроф в Індонезії, що спричиняють серйозні соціальні, економічні та екологічні наслідки. Об'єктом цього дослідження є просторово-часове виявлення повеней у Сімпанг-Емпат, регентство Асахан, Північна Суматра, районі, який щорічно стикається з повенями через високу кількість опадів, низькорослий рельєф та зміни в землекористуванні. Традиційні підходи до виявлення, засновані на просторових або часових даних, часто не враховують складні взаємодії, що обмежує точність прогнозування. Для вирішення цієї проблеми в цьому дослідженні розроблено мультимодальну структуру повністю керованої системи уваги (ММ-ПКСУ), яка інтегрує мультиспектральні зображення Sentinel-2, рельєф SRTM, кількість опадів CHIRPS та атмосферні змінні ERA5. Модель використовує просторові апріорні дані на основі згорткової нейронної мережі (ЗНМ) для керування часовою увагою в довгій короткостроковій пам'яті (ДКП), гарантуючи, що прогнози зосереджені на найбільш релевантних для повеней регіонах та періодах часу. Експериментальні результати показують, що ММ-ПКСУ досягла точності 91,72%, прецизійності 92,05%, повноти 90,29% та AUC 0,945, що значно перевершує базові рівні ЗНМ, ДКП та ЗНМ-ДКП. Це покращення пояснюється чітким просторово-часовим керівництвом, яке підвищує точність прогнозування, а також збільшує інтерпретованість за допомогою карт уваги. Відмінними особливостями фреймворку є мультимодальна інтеграція, керована увага та здатність створювати карти ризику повеней з більш ніж 90% згодою зі спостережуваними даними. Ці результати підтверджують, що ММ-ПКСУ є надійною, адаптивною та здатною створювати точні та пояснювальні прогнози. Фреймворк демонструє значний потенціал для використання в системах раннього попередження про повені та управління ризиками стихійних лих, надаючи своєчасну інформацію для планування евакуації та розподілу ресурсів у вразливих регіонах.

Ключові слова: повінь, просторово-часове виявлення, мультимодальний, керована увага, глибоке навчання, система раннього попередження.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.331524

ГІБРИДНА БАГАТОМАСШТАБНА ЗГОРТКОВА НЕЙРОНА МЕРЕЖА З ОСОБЛИВОСТЯМИ УВАГИ ТА ТЕКСТУРИ ДЛЯ ПОКРАЩЕНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ (с. 18–28)

Irpan Adiputra Pardosi, Tengku Henney Febriana Harumy, Syahril Efendi

Об'єктом цього дослідження є класифікація зображень з низькою роздільною здатністю та з кількома класами, представлених за допомогою еталонного набору даних CIFAR-10. Точна класифікація зображень з низькою роздільною здатністю та з кількома класами є складною, оскільки традиційні згорткові нейронні мережі (CIFAR-10) зазвичай мають проблеми з ідентифікацією як глобальних, так і складних текстурних візерунків. Щоб вирішити цю проблему, у цьому дослідженні використовується набір даних CIFAR-10 як репрезентативний еталон для реальних сценаріїв, де якість зображення обмежена, наприклад, у недорогих медичних системах візуалізації, дистанційному зондуванні та системах відеоспостереження. Обмежена розрізняювальність традиційних CNF у цих ситуаціях є основною проблемою, яку розглядають. Запропонований метод використовує три паралельні згорткові потоки з різними розмірами ядра (3×3 , 5×5 та 7×7) для захоплення ієрархічних просторових візерунків, а потім інтегрує два механізми уваги – стискання та збудження та згортковий блочний модуль уваги – які адаптивно підкреслюють найбільш релевантну просторову та каналну інформацію. Крім того, дескриптори структурної текстури, такі як матриця спільної появи рівнів сірого, локальний бінарний шаблон та фільтри Габора, обчислюються незалежно, а потім об'єднуються з глибокими представленнями для збагачення простору ознак. Експерименти проводилися на наборі даних CIFAR-10 з різними рівнями складності класів: 10, 5 та 3 категорії. Результати показують, що гібридний підхід значно покращує точність, повноту та F1-оцінку у всіх сценаріях, з найвищою точністю 90,87%, отриманою, коли задіяні лише три класи. Ці покращення пояснюються взаємодоповнюючою природою глибоких та ручних ознак, які разом дозволяють моделі вивчати як глобальну семантику, так і дрібнозернисті локальні текстури, що може досягти вищої точності класифікації, підвищеної надійності та зменшення помилок класифікації, що зрештою підвищує ефективність застосувань, починаючи від підтримки медичних рішень до інтелектуального спостереження.

Ключові слова: багатомасштабне ядро, механізми уваги, CIFAR-10, GLCM, LBP, фільтри Габора.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.341516

ОЦІНКА ІНТЕГРОВАНОГО ПІДХОДУ ДО МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗА ВІДГУКАМИ КОРИСТУВАЧІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА СВОЄЧАСНОСТІ (с. 29–42)

Nurzhamal Kashkimbayeva, Ulan Bekish, Gulsim Abdoldinova, Zhuldyz Basheyeva, Alina Mitroshina

Об'єктом дослідження є система моніторингу та аналізу якості програмного забезпечення на основі відгуків користувачів, зібраних з проєктів з відкритим кодом на GitHub. Проблема полягає у відсутності ефективних автоматизованих інструментів, здатних

обробляти великі обсяги неструктурованих відгуків для виявлення проблем якості, визначення пріоритетів і фіксації негативних тенденцій у реальному часі. Традиційні методи забезпечення якості, хоча й важливі, не враховують нюанси настроїв користувачів і контекстні деталі у відгуках природною мовою, що призводить до затримок у виявленні та вирішенні проблем. Розроблена система інтегрує три модулі: аналіз настроїв для оцінки задоволеності користувачів, категоризацію проблем для структурування відгуків у придатні для використання типи та виявлення аномалій для ідентифікації раптових змін у настроях чи динаміці відгуків. Результати показують, що моделі на основі трансформаторів, зокрема точно налаштований BERT, перевершують правилоорієнтовані та традиційні алгоритми машинного навчання за точністю й стійкістю. Ця перевага пояснюється здатністю враховувати специфічну лексику, сарказм і контекстні залежності, що забезпечує точнішу інтерпретацію відгуків. Компонент виявлення аномалій, який використовує автоенкодер LSTM та Isolation Forest, продемонстрував здатність виявляти критичні регресії якості до двох днів раніше за офіційні повідомлення. Отримані результати можуть застосовуватися для безперервного моніторингу якості у гнучких, відкритих чи орієнтованих на користувача середовищах розробки, де своєчасне прийняття рішень на основі даних є критичним. Запропонований підхід підтримує аналітику в режимі реального часу, допомагаючи командам проактивно реагувати на ризики та підвищувати задоволеність користувачів.

Ключові слова: аналіз відгуків, якість програмного забезпечення, аналіз настроїв, виявлення проблем, обробка даних.

DOI 10.15587/1729-4061.2025.340491

РОЗРОБКА МУЛЬТИАГЕНТНОЇ АДАПТИВНОЇ РЕКОМЕНДАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ МАШИННОГО НАВЧАННЯ З ПІДКРІПЛЕННЯМ (с. 43–54)

Б. І. Романюк, О. В. Пелюшкевич

Об'єктом дослідження є процес підвищення ефективності та точності надання персоналізованих рекомендацій користувачам у системах, які використовують машинне навчання з підкріпленням.

Основною проблемою, що вирішується в дослідженні, є покращення адаптації та персоналізації рекомендацій шляхом створення окремого агента для кожного користувача. Це дозволяє зменшити вплив сторонніх дій і краще адаптуватися до індивідуальних вподобань. У роботі запропоновано використання моделі «Актор-Критик», реалізованої на основі алгоритму глибокої детермінованої стратегії для більш стабільного навчання та отримання довгострокової винагороди у послідовних процесах прийняття рішень. Рекомендація генерується використовуючи унікальні властивості елементів на основі історичних взаємодій користувачів. Процес навчання нейронних мереж відбувається з різними параметрами для одноагентної та мультиагентної моделей.

Експериментальні результати, отримані на наборі даних MovieLens, демонструють перевагу мультиагентної моделі над одноагентною за ключовими метриками. Для рекомендацій із п'яти елементів зафіксовано покращення: Precision@5 на 4%, Recall@5 на 0.32%, Normalized Discounted Cumulative Gain NDCG@5 на 2.92% у порівнянні з одноагентною моделлю. Для рекомендацій із десяти елементів отримано: Precision@10 на 1% вище, Recall@10 на 0.18% вище, NDCG@10 на 1.14% вище порівняно з одноагентним підходом. Проведені симуляції для одного користувача показали перевагу в 66 випадках зі 100 в досягненні вищих кумулятивних винагород для мультиагентної моделі. Запропонована система демонструє ефективність у визначенні вподобань користувачів, покращенні якості рекомендацій та адаптації до змін користувацької поведінки з часом.

Основною галуззю практичного застосування отриманих результатів є динамічні онлайн-середовища, зокрема системи електронної комерції, медіаплатформи, соціальні мережі та новинні видання.

Ключові слова: персоналізована рекомендація, навчання з підкріпленням, мультиагентне середовище, модель Актор-Критик.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.342297

РОЗРОБКА БЕЗКОДОВОГО МЕТОДУ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ОЗНАК ІНФОРМАЦІЙНО-ПСИХОЛОГІЧНИХ ВПЛИВІВ В ПОВІДОМЛЕННЯХ (с. 55–69)

Д. В. Ланде, К. В. Єфремов, А. М. Соболев, І. О. Пишнограєв

Об'єктом дослідження є текстові повідомлення, що потенційно містять ознаки інформаційно-психологічних операцій (ІПСО). Роботу спрямовано на вирішення проблеми виявлення ознак ІПСО в медіа-просторі. Запропоновано інноваційний метод виявлення таких ознак, що базується на побудові та аналізі семантичних мереж та реалізується без використання програмного коду шляхом застосування великих мовних моделей (LLM). Це дозволяє створювати формалізовані аналітичні запити до LLM у вигляді безкоштовної системи, яка ґрунтується на композиції структурованих промптів. Унікальність методу полягає в паралельному аналізі даних із двох джерел знань: внутрішнього та зовнішнього. Внутрішнє містить узагальнені патерни ІПСО, сформовані на основі широкого корпусу даних. Зовнішнє включає верифіковані приклади фейкових повідомлень із соціальних мереж, новинних ресурсів та архівів фактчекінгових організацій. Для підвищення точності аналізу застосовується семантична нормалізація концептів, яка використовує вбудовані вектори для уніфікації термінології, а також порівняння каузальних шляхів у семантичних мережах для виявлення зв'язків. Оцінка ймовірності належності повідомлення до ІПСО формується шляхом агрегації результатів з використанням зваженого середнього, що дозволяє врахувати семантичну та структурну схожість. Наведено приклад застосування методу до аналізу дезінформаційного повідомлення, що демонструє здатність виявляти ключові ознаки психологічного впливу: маніпулятивні наративи, емоційну зарядженість і причинно-наслідкові зв'язки. Запропонований метод є гнучким, відтворюваним і доступним для дослідників без навичок програмування, що робить його цінним інструментом для моніторингу інформаційних загроз і аналізу дезінформації в умовах інформаційних протистоянь.

Ключові слова: інформаційно-психологічна операція, семантична мережа, LLM, промпт-інженеринг, безкодова аналітика, ІП, дезінформація.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.340258

ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ПОШУКУ В СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖАХ ЗА ДОПОМОГОЮ РОЗШИРЕННЯ ЗАПИТІВ НА ОСНОВІ КОРПУСУ З ВИКОРИСТАННЯМ ДВОНАПРАВЛЕНИХ ПРЕДСТАВЛЕНЬ ЕНКОДЕРА З ТРАНСФОРМЕРІВ (с. 70–83)

Roberto Kaban, Poltak Sihombing, Syahril Efendi, Maya Silvi Lydia

Це дослідження зосереджено на колекції твітів, пов'язаних з державними послугами (електронним урядуванням), які попередньо оброблені та перетворені на доменно-специфічний корпус для розширення запитів. Традиційні моделі пошуку інформації мають проблеми з неструктурованим та шумним контентом, що містить неформальну мову та аббревіатури, що знижує точність пошуку. Щоб подолати ці проблеми, у цьому дослідженні пропонується гібридна модель розширення запитів (QE) під назвою ROCBERT-QE, яка поєднує пошук на основі корпусу (CBR) з двонаправленими представленнями кодувальників від трансформаторів (BERT). Модель застосовує подвійне розширення, використовуючи частоти спільної появи на основі корпусу для фіксації лексичних зв'язків та вбудовування BERT для збереження семантичного контексту. Було створено доменно-специфічний корпус, що складається з 5017 попередньо оброблених твітів, пов'язаних з Національним медичним страхуванням Індонезії (BPJS), який охоплює 6215 унікальних термінів, що представляють лінгвістичну варіацію та неформальність у публічному дискурсі. Експериментальні результати показують, що ROCBERT-QE перевершує базові методи пошуку, такі як TF-IDF, BM25 та стандартний BERT. Для запитів на одне слово показник відтворення досяг 0,8574, а точність – 0,8807, тоді як для запитів на рівні речень відтворення становив 0,8932, а точність – 0,9175. Синергія розширення на основі частоти та контексту дозволяє ефективно обробляти лексичний шум та семантичну неоднозначність. Результати підтверджують науковий потенціал поєднання корпусних та трансформаторних підходів у завданнях пошуку інформації, що включають неструктурований контент. Практично, ROCBERT-QE може бути застосований для аналізу громадського дискурсу в реальному часі в контексті електронного урядування, такого як оцінка послуг, зворотний зв'язок щодо політики та раннє виявлення суспільних проблем. Фреймворк масштабований та адаптований до інших областей з неформальними або багатомовними характеристиками даних.

Ключові слова: пошук інформації, розширення запитів, пошук на основі корпусу, BERT, соціальні мережі, електронне урядування.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.335473

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ТЕКСТОВИХ ЗАПИТІВ ДО СИСТЕМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ (с. 84–97)

В. М. Олійник, А. В. Бізюк, Ж. В. Дейнеко, В. Ф. Челомбітько

Об'єктом дослідження є процес формалізації текстових запитів до великих мовних моделей штучного інтелекту з метою автоматизованої генерації карток дій для настільних гексагональних варгеймів. Проблема полягає у надмірній неоднозначності (42% помилкових інтерпретацій термінів), контекстній неповноті (37%) та синтаксичній варіативності (21%) натуральномовних запитів, що призводить до малокорисних і непередбачуваних відповідей. Для вирішення цієї проблеми запропоновано концептуально-практичну модель, яка поєднує структуровані шаблони запитів, локалізований глосарій ключових термінів і чітку вказівку формату відповіді. Практичну апробацію проведено шляхом генерації набору карток дій для настільних варгеймів у соло-режимі за допомогою сучасних великих мовних моделей, шляхом генерації понад 100 запитів і аналізу більше ніж 300 відповідей. В результаті експерименту виявлено, що формалізовані запити знизили сумарну частку помилок на 58% та підвищили релевантність відповідей з 55–65% до 88–92%. Середній час підготовки запитів скоротився на 25–40%. Шаблони «d6-таблиць» забезпечили стабільність формату виводу у 90–95% випадках, JSON-структури – у 85–90%. Інтегрований в запит глосарій та опис структури мінімізували семантичні розбіжності та синтаксичні помилки. Особливістю запропонованих типових структур запитів є їх адаптивність до різних предметних областей завдяки використанню мови опису, специфічної для кожної з них. Результати дослідження мають практичне значення для автоматизації процесів створення ігрового контенту та можуть бути адаптовані для інших предметних областей, де важлива точність, узгодженість та структурованість відповідей мовних моделей. Запропонований систематизований підхід сприяє автоматизації створення складного контенту із гарантованим підвищенням рівня якості та передбачуваності відповідей від великих мовних моделей.

Ключові слова: формалізація запитів, великі мовні моделі, штучний інтелект, структуровані шаблони, варгейми.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.340492

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ GPT-4.1-MINI ДЛЯ БАГАТОКЛАСОВОЇ КАТЕГОРИЗАЦІЇ ТЕКСТУ АНГЛІЙСЬКОЮ ТА УКРАЇНСЬКОЮ МОВАМИ (с. 98–106)

Ю. О. Волощук, О. В. Міца

Об'єктом дослідження є процес багатокласової автоматичної категоризації користувацьких запитань за допомогою великих мовних моделей в умовах переходу з англійської мови на українську.

Наукова проблема полягає в тому, що більшість сучасних великих мовних моделей (LLM) оптимізовані для англійської мови, тоді як ефективність їхнього застосування до морфологічно складних і ресурсно обмежених мов, зокрема української, залишається недостатньо вивченою.

У роботі розроблено та реалізовано експериментальний підхід до оцінювання переносимості моделі GPT-4.1-mini з англійської на українську мову в задачі класифікації 11 047 користувацьких запитань, що охоплюють дев'ять прикладних доменів. Для аналізу

застосовано традиційні метрики (Recall, Precision, Weighted-F₁, Macro-F₁) та новий показник Uncertainty/Error Rate (U/E), який характеризує частку відмов і «галюцинацій» моделі.

Результати дослідження показали, що найвища якість досягається на англійському наборі (Macro-F₁ = 69.78%, U/E = 0.05%). При використанні українських промптів Macro-F₁ знизився до 63.73%, проте U/E дорівнював 0%, що свідчить про підвищену надійність відповідей. Використання англійських промптів для українських даних дозволило зберегти майже незмінний рівень точності (Macro-F₁ = 69.66%), демонструючи сильні механізми внутрішнього перекладу та узагальнення.

Особливістю роботи є використання великого багатодоменого паралельного корпусу, зіставлення промптів двома мовами, використання нової моделі GPT-4.1-mini та введення метрики U/E як критерію надійності. Запропонований підхід довів можливість використання моделі GPT-4.1-mini для українських інформаційних сервісів без додаткового навчання, зокрема для автоматичної маршрутизації запитів у фінансовому, медичному, юридичному та інших доменах.

Ключові слова: аналіз даних, велика мовна модель, GPT-4.1-mini, категоризація тексту, багатомовне оцінювання, українська мова.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.340758

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ПОХИБОК ПРОГНОЗУВАННЯ ТА УПОДОБАНЬ ЩОДО ГНУЧКОСТІ В СИСТЕМАХ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО ДОБОВОГО ОПЕРАЦІЙНОГО ПЛАНУВАННЯ ПРОС'ЮМЕРІВ (с. 107–121)

О. В. Лук'яничин, В. В. Шендрик

Об'єкт дослідження – оперативне планування в системах підтримки прийняття рішень (СППР) для прос'юмерів. Розглядається проблема відсутності чіткого моделювання гнучкості поведінки та обмеженого розуміння впливу якості прогнозів на результати планування.

У роботі представлено модуль для короткострокового планування енергоспоживання та використання акумуляторів прос'юмерами. Запропоноване рішення вдосконалює інформаційну підтримку прос'юмерів, за рахунок поєднання прогнозування споживання та генерації, заданих користувачем параметрів гнучкості та обмежень на роботу батарей з метою зниження витрат і збільшення прибутку від продажу електроенергії. Цей модуль дозволяє явно моделювати гнучкість, підвищуючи прозорість та краще відображає індивідуальну поведінку. Валідація на реальних даних із різних сегментів прос'юмерів підтвердила його ефективність та універсальність для економії коштів.

Модуль дозволяє знизити витрати за реалістичних та екстремальних похибок прогнозування (до 75%) у більшості конфігурацій гнучкості. Загальна ефективність залежала від точності прогнозу та налаштувань гнучкості. Виявлено лінійну залежність між похибкою прогнозу та рівнем економії. У граничних випадках – при дуже низькій гнучкості та високій похибці прогнозу – планування стало менш ефективним, що знижувало загальну економію. Збільшення гнучкості послаблює вимоги до точності прогнозу, що підкреслює важливий компроміс в плануванні. Вища гнучкість призводила до кращих початкових результатів, але швидшого погіршення зі зростанням похибки прогнозу. СППР з меншою гнучкістю демонстрували повільніше погіршення показників, проте були більш вразливими в граничних сценаріях.

Отримані результати мають практичне значення для вдосконалення процесів планування в СППР для прос'юмерів.

Ключові слова: система підтримки прийняття рішень, прос'юмер, фотovoltaїка, операційне планування, похибка прогнозування.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.338565

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КЕРУВАННЯ ТЕПЛИЦЕЮ ЗА ДОПОМОГОЮ МОДЕЛІ МАРКОВСЬКОГО ПРОЦЕСУ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ (с. 122–135)

А. О. Білощицький, Ю. В. Андрашко, О. Ю. Кучанський, Alexandr Neftissov, М. В. Гладка, В. Ю. Вацкель, Sofiia Berdei

Об'єктом дослідження є процеси керування теплицею. У дослідженні вирішується проблема раціонального керування теплицею на основі марківського процесу прийняття рішень з врахуванням дворівневої оптимізації/ Визначено випадковий марківський процес прийняття рішень для задачі вдосконалення роботи теплиці.

Було побудовано модель для керування теплицею, яка дозволяє визначати раціональні параметри мікроклімату для вирощування сільськогосподарських культур. Для верифікації моделі для керування теплицею використано реальні дані експерименту з вирощування полуниці в тепличному комплексі. Спостереження тривали з 17 травня по 8 червня 2025 року. Моніторинг параметрів мікроклімату здійснювався цілодобово з інтервалом 1 хвилина, що забезпечило високу точність аналізу. Експериментальний сценарій включав три контури зрошення, систему обігріву, LED-освітлення, вентиляцію та моніторинг CO₂. Запропонований підхід до керування теплицею на основі моделі марківського процесу прийняття рішень демонструє високу практичну цінність, особливо в контексті вирощування чутливих культур, таких як полуниця. Моделювання показує, що впровадження дворівневої оптимізації в системах автономного керування теплицею може забезпечити збільшення врожайності на 10,15%. Водночас, через значний об'єм теплиці та високу теплову інерційність конструкцій фактичні значення параметрів мікроклімату відхиляються від раціональних на 10–15%, унаслідок чого для розробленої моделі розрахований приріст врожайності становить близько 7%.

Ключові слова: мікроклімат теплиці, дворівнева оптимізація, випадковий марківський процес прийняття рішень, точне землеробство, задача керування.