

ABSTRACT AND REFERENCES

INFORMATION TECHNOLOGY. INDUSTRY CONTROL SYSTEMS

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.337405

GENERATION OF MACHINE-READABLE COUNTRY-BY-COUNTRY REPORTS WITH LARGE LANGUAGE MODELS (p. 6–13)**Yakiv Yusyn**National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6971-3808>

The object of this study is the process that generates machine-readable Country-by-Country reports in XML format using large language models. This paper addresses the task related to the current dependence of the process that generates these reports on specialized software, which leads to additional financial costs.

The research and analysis of the effectiveness of publicly available large language models for generating Country-by-Country reports with new data showed high results, provided that an example model of such generation was prompted. Three large language models out of nine studied yielded results close to ideal (obtained by manual preparation or specialized systems), namely 96 points out of 100 according to the devised evaluation methodology. Four other studied models demonstrated slightly lower efficiency, but their level is also sufficient for practical use. At the same time, the resulting average cost of generating one report (US cents 4.2) is significantly lower than in the case of using specialized systems.

Regarding the effectiveness of general-purpose large language models for generating Country-by-Country reports in the absence of a generation example, it is currently insufficient for practical use. In this case, all of the models studied showed results close to 0 points, i.e., completely incorrect reports were obtained. Such results are attributed to the insufficient amount of sample data during training of publicly available models.

Thus, publicly available large language models could in practice replace specialized software systems designed to generate Country-by-Country reports in XML format, at least in the case of generating new reports.

Keywords: transfer pricing, transfer pricing documentation, large language models, XML generation.

References

- Yi, Z., Cao, X., Chen, Z., Li, S. (2023). Artificial Intelligence in Accounting and Finance: Challenges and Opportunities. IEEE Access, 11, 129100–129123. <https://doi.org/10.1109/access.2023.3333389>
- Dubey, S. S., Astvansh, V., Kopalle, P. K. (2025). Generative AI Solutions to Empower Financial Firms. Journal of Public Policy & Marketing, 44 (3), 411–435. <https://doi.org/10.1177/07439156241311300>
- Action Plan on Base Erosion and Profit Shifting (2013). OECD. <https://doi.org/10.1787/9789264202719-en>
- Dharmapala, D. (2014). What Do We Know about Base Erosion and Profit Shifting? A Review of the Empirical Literature. Fiscal Studies, 35 (4), 421–448. <https://doi.org/10.1111/j.1475-5890.2014.12037.x>
- Transfer Pricing Documentation and Country-by-Country Reporting, Action 13 – 2015 Final Report. In OECD/G20 Base Erosion and Profit Shifting Project (2015). OECD. <https://doi.org/10.1787/9789264241480-en>
- Ouelhadj, A., Bouchetara, M. (2021). Contributions of the Base Erosion and Profit Shifting BEPS Project on Transfer Pricing and Tax Avoidance. Financial Markets, Institutions and Risks, 5 (3). [https://doi.org/10.21272/fmir.5\(3\).59-70.2021](https://doi.org/10.21272/fmir.5(3).59-70.2021)
- Country-by-Country Reporting XML Schema: User Guide for Tax Administrations. Version 2.0 (2019). Paris: OECD Publishing. Available at: <http://www.oecd.org/tax/beps/country-by-country-reporting-xml-schema-user-guide-for-tax-administrations-june-2019.pdf>
- Bergmann, S. (2016). Neue Verrechnungspreisdokumentationspflichten für multinationale Unternehmensgruppen. Zeitschrift für Gesellschaftsrecht und angrenzendes Steuerrecht, 148.
- Rezultaty roboty DPS shchodo podatkovoho kontrolu za transfertnym tsinoutvorennyam (2025). Kyiv. Available at: https://tax.gov.ua/data/material/000/780/912318/Dodatok_1.pdf
- Carey, A., Tanguay, B. H. (2025). How Can GenAI Improve My Transfer Pricing Process? Tax Management International Journal. Available at: https://kpmg.com/kpmg-us/content/dam/kpmg/taxnewsflash/pdf/2025/03/KPMG_GenAI_tmij_March2025_final.pdf
- Dinev, D., Wojewoda, A. (2024). Opportunities and limitations of AI in transfer pricing. International Tax Review. Available at: <https://www.internationaltaxreview.com/article/2dxro1nggp5h8t-2flrtog/sponsored/opportunities-and-limitations-of-ai-in-transfer-pricing>
- Khalil, M. (2024). The Role of AI in Enhancing Transfer Pricing Accuracy and Efficiency. Advances in Information Technology, 7 (1), 1–11. Available at: <https://acadexpinnara.com/index.php/acs/article/view/350>
- Basharat, A. (2024). The Role of AI in Transfer Pricing: Transforming Global Taxation Processes. Aitoz Multidisciplinary Review, 3 (1), 254–260. Available at: <https://aitozresearch.com/index.php/amr/article/view/55>
- Puttaraju, K. H. (2024). Leveraging AI for Transfer Pricing Strategy Development and Execution: A Practical Approach. Interantional Journal Of Scientific Research In Engineering And Management, 08 (11), 1–6. <https://doi.org/10.55041/ijrsrem32711>
- Moro Visconti, R. (2025). Artificial Intelligence And Transfer Pricing: A Multilayer Network Model for Compliance and Risk Mitigation. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5209028>
- Beuther, A., Fettke, P., Just, V., Riedl, A. (2020). KI-Einsatz für Effizienzgewinne bei Benchmarkstudien im Bereich Transfer Pricing. beck.digitax, 5, 316–323. Available at: https://wts.com/wts.de/publications/fachbeitraege/2020/2020_05_beck_digitax_316_Beuth_Fettke_Just_Riedl.pdf
- Beuther, A., Rombach, A., Stephan, S., Fettke, P., Köppe-Karkutsch, J., Dönnebrink, M. (2024). Künstliche Intelligenz im Steuerbereich: Innovationsstudie zum Potenzial und zur technologischen Entwicklung. KI Studie. Available at: https://wts.de/wts.de/KI%20Studie/KI-Folgestudie%202024_20240429.pdf
- Aibidia TXM: Verrechnungspreis-Management. TAXPUNK. Available at: <https://taxpunk.de/tools/328/aibidia-txm/>
- PwC CbC2Go: Workflow-basiertes CbC-Reporting. TAXPUNK. Available at: <https://taxpunk.de/tools/65/pwc-cbc2go/>
- WTS CbCR-2-XML: Umsetzung der XML-Struktur im Rahmen des CbC-Reportings. TAXPUNK. Available at: <https://taxpunk.de/tools/85/wts-cbcr-2-xml/>
- TPCBC: OECD konformes Country-by-Country Reporting. TAXPUNK. Available at: <https://taxpunk.de/tools/318/tpcbc/>
- Chiang, W., Zheng, L., Sheng, Y., Angelopoulos, A. N., Li, T., Li, D. et al. (2024). Chatbot arena: an open platform for evaluating LLMs by human preference. Proceedings of the 41st International Conference on Machine Learning, 8359–8388. Available at: <https://dl.acm.org/doi/10.5555/3692070.3692401>
- What's new in .NET 8 (2024). Microsoft. Available at: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/core/whats-new/dotnet-8/overview>
- What's new in C# 12 (2024). Microsoft. Available at: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/whats-new/csharp-12>

25. dotnet/command-line-api at 2.0.0-beta4.22272.1. GitHub. Available at: <https://github.com/dotnet/command-line-api/tree/2.0.0-beta4.22272.1>
26. lofcz/LlmTornado at v3.5.18. GitHub. Available at: <https://github.com/lofcz/LlmTornado/tree/v3.5.18>
27. Communication Manual DIP Standard 2.1 BZSt. Available at: https://www.bzst.de/SharedDocs/Downloads/EN/dip_elma/Communication_Manual_DIP_Standard_2.pdf

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.332189

DEVISING A METHOD FOR DATA CONSISTENCY AT REPLICATION IN MULTICLOUD SYSTEMS (p. 14–22)

Maksym Volk

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4229-9904>

Olha Kozina

AFOREHAND Studio, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0740-7068>

Andrii Buhrii

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0009-0002-9059-3200>

Serhii Osiievskyi

Ivan Kozhedub Kharkiv National
Air Force University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0861-9417>

Mykyta Kozin

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0009-0003-5965-9491>

Darya Volk

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0009-0008-1425-485X>

Dmytro Diachenko

Brainence – Software Development Vendor, Lviv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0009-0006-5751-3511>

Yurii Turinskyi

Ivan Kozhedub Kharkiv National
Air Force University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0009-0003-2011-0071>

This study's object is the consistency of replication data in geo-distributed multicloud systems. The task under consideration is to devise a method for interval ordering of incoming requests by forming a sequence of general order numbers, according to which the order of writing data to geo-distributed replicas is executed.

A feature of the proposed method is the a priori determination of equally long non-intersecting intervals of adjustment of incoming packet numbers, during which the incoming packet numbers are ordered. Grouping users into conditional clusters according to geographical location around brokers makes it possible to determine the priorities of sorting incoming packets. Brokers should be located near the leading replica of each cloud service provider and accept write requests from users from the nearest conditional cluster. In addition, the ordering of incoming packets occurs in the order of their arrival at each broker during the specified intervals. These mechanisms make it possible to synchronize data write operations in one step of global communication between geo-distributed replicas of separate cloud service providers.

To estimate the latency of forming the total ordered sequence of incoming packet numbers, a simulation model has been built, whose feature is the ability to reproduce a different number and geographical location of replicas. The stability of a latency in coordinating incoming write requests in geo-distributed multicloud system with

an increase in the intensity of the incoming flow by even 70 times has been shown experimentally.

The results make it possible not only to reduce the latency of writing data to replicas of existing multicloud systems but also to choose the best geographical location of cloud service provider resources when designing new ones.

Keywords: multicloud systems, interval consistency method, geo-distributed data replication, latency model.

References

1. Mamchych, O., Volk, M. (2022). Smartphone Based Computing Cloud and Energy Efficiency. 2022 12th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT). <https://doi.org/10.1109/dessert58054.2022.10018740>
2. Mamchych, O., Volk, M. (2024). A unified model and method for forecasting energy consumption in distributed computing systems based on stationary and mobile devices. *Radioelectronic and Computer Systems*, 2024 (2), 120–135. <https://doi.org/10.32620/reks.2024.2.10>
3. Tricomi, G., Merlino, G., Panarello, A., Puliafito, A. (2020). Optimal Selection Techniques for Cloud Service Providers. *IEEE Access*, 8, 203591–203618. <https://doi.org/10.1109/access.2020.3035816>
4. Aldin, H. N. S., Deldari, H., Moattar, M. H., Ghods, M. R. (2019). Consistency models in distributed systems: A survey on definitions, disciplines, challenges and applications. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/1902.03305>
5. Mhaisen, N., Malluhi, Q. M. (2020). Data Consistency in Multi-Cloud Storage Systems With Passive Servers and Non-Communicating Clients. *IEEE Access*, 8, 164977–164986. <https://doi.org/10.1109/access.2020.3022463>
6. Charapko, A., Ailijiang, A., Demirbas, M. (2021). PigPaxos: Devouring the Communication Bottlenecks in Distributed Consensus. *Proceedings of the 2021 International Conference on Management of Data*, 235–247. <https://doi.org/10.1145/3448016.3452834>
7. Shiozaki, K., Nakamura, J. (2024). Selection Guidelines for Geographical SMR Protocols: A Communication Pattern-Based Latency Modeling Approach. *Stabilization, Safety, and Security of Distributed Systems*, 344–359. https://doi.org/10.1007/978-3-031-74498-3_25
8. Coelho, P., Pedone, F. (2021). GeoPaxos+: Practical Geographical State Machine Replication. 2021 40th International Symposium on Reliable Distributed Systems (SRDS), 233–243. <https://doi.org/10.1109/srds53918.2021.00031>
9. Eisner, M., Straßner, B., Distler, T. (2020). Low-latency geo-replicated state machines with guaranteed writes. *Proceedings of the 7th Workshop on Principles and Practice of Consistency for Distributed Data*, 1–9. <https://doi.org/10.1145/3380787.3393686>
10. Petrescu, M. (2023). Replication in Raft vs Apache Zookeeper. *Soft Computing Applications*, 426–435. https://doi.org/10.1007/978-3-031-23636-5_32
11. Kozina, O. A., Panchenko, V. I., Kolomiitsev, O. V., Usik, V. V., Stratiienko, N. K., Safoshkina, L. V., Kucherenko, Y. F. (2024). Data consistency protocol for multicloud systems. *International Journal of Cloud Computing*, 13 (1), 42–61. <https://doi.org/10.1504/ijcc.2024.136284>
12. Kozina, O., Kozin, M. (2022). Simulation Model of Data Consistency Protocol for Multicloud Systems. 2022 IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), 1–4. <https://doi.org/10.1109/khpiweek57572.2022.9916343>
13. Xiang, Z., Vaidya, N. H. (2020). Global Stabilization for Causally Consistent Partial Replication. *Proceedings of the 21st International Conference on Distributed Computing and Networking*, 1–10. <https://doi.org/10.1145/3369740.3369795>
14. Kakwani, D., Nasre, R. (2020). Orion. *Proceedings of the 7th Workshop on Principles and Practice of Consistency for Distributed Data*, 1–6. <https://doi.org/10.1145/3380787.3393676>

15. Song, H., Wang, Y., Chen, X., Feng, H., Feng, Y., Fang, X. et al. (2025). K2: On Optimizing Distributed Transactions in a Multi-region Data Store with TrueTime Clocks (Extended Version). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2504.01460>
16. Lu, H., Mu, S., Sen, S., Lloyd, W. (2023). NCC: Natural Concurrency Control for Strictly Serializable Databases by Avoiding the Timestamp-Inversion Pitfall. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2305.14270>
17. Kleppmann, M. (2017). Designing Data-Intensive Applications. O'Reilly Media, 614.
18. Gracia-Tinedo, R., Junqueira, F., Zhou, B., Xiong, Y., Liu, L. (2023). Practical Storage-Compute Elasticity for Stream Data Processing. Proceedings of the 24th International Middleware Conference: Industrial Track, 1–7. <https://doi.org/10.1145/3626562.3626828>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.337851

IDENTIFYING THE INDUSTRY-SPECIFIC QUANTITATIVE INDICATORS FOR CLOUD MIGRATION STRATEGY OUTCOMES (p. 23–34)

Viktor Shutko

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0527-4401>

Maksym Ievlanov

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6703-5166>

Ivan Iuriev

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5178-519X>

This study's object is the cloud migration process of information systems (ISs). This paper aims to resolve the task of devising a quantitatively grounded classification of migration strategies while previous approaches relied on conceptual models without empirical validation of industry-specific performance metrics.

Unlike existing categorizations, the proposed approach employs empirical data from 275 successful cloud migration cases, considering cost reduction, performance improvement, migration duration, as well as the number of cloud services used. Missing values are handled by multiple imputations via chained equations (MICE); outliers were removed using the interquartile range criterion, thereby enhancing result reliability. A taxonomy of three strategies – Lift-and-Shift, Re-platforming, and Reengineering – was established.

Quantitative results indicate that Lift-and-Shift was applied in 39.64% of cases with an average cycle of 5.94 months and cost reduction of 40.06%; Re-platforming in 38.55% of cases with 6.10 months and 38.12% cost savings; Reengineering in 21.82% with 6.28 months, 42% cost savings, and 141.66% performance gain. Further analysis revealed an industry dependence in strategy selection: Lift-and-Shift predominated in regulated sectors, whereas Re-platforming and Reengineering were preferred in high tech industries.

The findings could underpin automated decision support systems for planning cloud migration of IS at medium and large enterprises. The quantitative models enable forecasting of temporal and financial indicators based on system scale, technological landscape, and regulatory requirements. Implementation requires acquisition of performance and cost metrics and integration of MICE and outlier detection into pre-migration audits.

Keywords: imputation, information systems, quantitative analysis, classification, strategic planning, cloud migration.

References

1. Mittal, M. (2024). The Great Migration: Understanding the Cloud Revolution in IT. International Journal of Scientific Research in

- Computer Science, Engineering and Information Technology, 10 (6), 2222–2228. <https://doi.org/10.32628/cseit2410612423>
2. Amin, R., Vadlamudi, S. (2021). Opportunities and Challenges of Data Migration in Cloud. Engineering International, 9 (1), 41–50. <https://doi.org/10.18034/ei.v9i1.529>
3. Indukuri, A. V. (2025). AI-Powered Cloud Migration: Transforming Enterprise Modernization Strategies. Journal of Computer Science and Technology Studies, 7 (2), 567–575. <https://doi.org/10.32996/jcsts.2025.7.2.60>
4. Sharma, B. P. (2025). Optimizing Cloud Migration Strategies for Large-Scale Enterprises: A Comparative Analysis of Lift-and-Shift, Replatforming, and Refactoring Approaches. Advances in Theoretical Computation, Algorithmic Foundations, and Emerging Paradigms, 15 (2), 1–14. Available at: <https://healarchive.com/index.php/ATCAEP/article/view/2025-FEB-04>
5. Hosseini Shirvani, M., Amin, G. R., Babaeikiadehi, S. (2022). A decision framework for cloud migration: A hybrid approach. IET Software, 16 (6), 603–629. <https://doi.org/10.1049/sfw2.12072>
6. Aslam, M., Rahim, L. bin A., Watada, J., Hashmani, M. (2018). Clustering-Based Cloud Migration Strategies. Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, 22 (3), 295–305. <https://doi.org/10.20965/jaciii.2018.p0295>
7. Chanthathi, S. R. (2024). Artificial Intelligence-Based Cloud Planning and Migration to Cut the Cost of Cloud Sasibhushan Rao Chanthathi. American Journal of Smart Technology and Solutions, 3 (2), 13–24. <https://doi.org/10.54536/ajsts.v3i2.3210>
8. Ankit, K. G., Apoorva, J. (2025). Efficient Strategies for S/4 HANA Cloud Migration in Large Enterprise Landscapes. International Journal of Innovative Science and Research Technology (IJSRT), 9 (11), 3628–3645. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14836417>
9. Althani, B. (2025). Migration challenges of legacy software to the cloud: a socio-technical perspective. Cogent Business & Management, 12 (1). <https://doi.org/10.1080/23311975.2025.2503421>
10. Sahoo, K., Samal, A. K., Pramanik, J., Pani, S. K. (2019). Exploratory Data Analysis using Python. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, 8 (12), 4727–4735. <https://doi.org/10.35940/ijitee.I3591.1081219>
11. Buuren, S. van, Groothuis-Oudshoorn, K. (2011). mice: Multivariate Imputation by Chained Equations in R. Journal of Statistical Software, 45 (3). <https://doi.org/10.18637/jss.v045.i03>
12. Tukey, J. W. (1977). Exploratory Data Analysis. Addison-Wesley Publishing Company. Available at: <https://consoleflare.com/blog/wp-content/uploads/2022/09/Exploratory-Data-Analysis-1977-John-Tukey.pdf>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.335501

DEVELOPMENT OF AN INFORMATION TECHNOLOGY FOR DETECTING THE SOURCES AND NETWORKS OF DISINFORMATION DISSEMINATION IN CYBERSPACE BASED ON MACHINE LEARNING METHODS (p. 35–51)

Victoria Vysotska

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6417-3689>

Mariia Nazarkevych

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6528-9867>

The object of this study is the processes of identifying sources and networks of disinformation dissemination in the cyberspace of the world. With the growing influence of social networks on public opinion, the issue of identifying and neutralizing propaganda messages is becoming particularly relevant. Conventional methods of combating propaganda such as manual content moderation have proven to be

insufficiently effective due to the large amount of information generated daily.

It is important to use natural language processing and machine learning methods to analyze text, identify sources of disinformation dissemination and inauthentic behavior of bots. Based on the analysis of existing methods of intelligent disinformation search, methods have been devised to identify sources and ways of disinformation dissemination in cyberspace by searching for similar text chains and analyzing the similarity of writing style.

Hybrid vector representation makes it possible to capture surface frequency characteristics of the text and semantic features, which has a positive effect on the quality of classification. Cosine similarity, Jacquard, Levenstein and Word2Vec are used to measure similarity. Clustering (DBSCAN, K-Means) helps group fake messages. Graph analysis detects central accounts and bot networks.

Evaluation of the model's performance by key metrics showed reliable results for identifying sources of disinformation distribution: accuracy – 0.82, F1.3 – 0.8, ROC-AUC – 0.86. The identified differences in lexical patterns for the "fake" and "true" classes confirm the model's ability to capture the content features of texts. The proposed method for detecting disinformation distribution paths serves as the basis for building scalable systems for monitoring the information space and adapting to other text classification tasks.

Keywords: disinformation source detection, machine learning, disinformation network, fake news, text similarity.

References

- Kaliyar, R. K., Goswami, A., Narang, P., Sinha, S. (2020). FNDNet – A deep convolutional neural network for fake news detection. *Cognitive Systems Research*, 61, 32–44. <https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2019.12.005>
- Sahoo, S. R., Gupta, B. B. (2021). Multiple features based approach for automatic fake news detection on social networks using deep learning. *Applied Soft Computing*, 100, 106983. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106983>
- Xue, J., Wang, Y., Tian, Y., Li, Y., Shi, L., Wei, L. (2021). Detecting fake news by exploring the consistency of multimodal data. *Information Processing & Management*, 58 (5), 102610. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2021.102610>
- Wang, X., Xie, H., Ji, S., Liu, L., Huang, D. (2023). Blockchain-based fake news traceability and verification mechanism. *Heliyon*, 9 (7), e17084. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17084>
- Martín, A., Huertas-Tato, J., Huertas-García, Á., Villar-Rodríguez, G., Camacho, D. (2022). FacTeR-Check: Semi-automated fact-checking through semantic similarity and natural language inference. *Knowledge-Based Systems*, 251, 109265. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2022.109265>
- Liu, X., Qi, L., Wang, L., Metzger, M. J. (2023). Checking the Fact-Checkers: The Role of Source Type, Perceived Credibility, and Individual Differences in Fact-Checking Effectiveness. *Communication Research*. <https://doi.org/10.1177/00936502231206419>
- Guo, Z., Schlichtkrull, M., Vlachos, A. (2022). A Survey on Automated Fact-Checking. *Transactions of the Association for Computational Linguistics*, 10, 178–206. https://doi.org/10.1162/tacl_a_00454
- Shahbazi, Z., Byun, Y.-C. (2021). Fake Media Detection Based on Natural Language Processing and Blockchain Approaches. *IEEE Access*, 9, 128442–128453. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3112607>
- Elzayady, H., S. Mohamed, M., M. Badran, K., I. Salama, G. (2022). Detecting Arabic textual threats in social media using artificial intelligence: An overview. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 25(3), 1712. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v25.i3.pp1712-1722>
- Saquete, E., Tomás, D., Moreda, P., Martínez-Barco, P., Palomar, M. (2020). Fighting post-truth using natural language processing: A review and open challenges. *Expert Systems with Applications*, 141, 112943. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.112943>
- Shu, K., Sliva, A., Wang, S., Tang, J., Liu, H. (2017). Fake News Detection on Social Media. *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, 19 (1), 22–36. <https://doi.org/10.1145/3137597.3137600>
- Nguyen, V. H., Sugiyama, K., Nakov, P., Kan, M. Y. (2022). FANG: Leveraging social context for fake news detection using graph representation. *Communications of the ACM*, 65 (4), 124–132. <https://doi.org/10.1145/3517214>
- Vosoughi, S., Roy, D., Aral, S. (2018). The spread of true and false news online. *Science*, 359 (6380), 1146–1151. <https://doi.org/10.1126/science.aap9559>
- Pennycook, G., Bear, A., Collins, E. T., Rand, D. G. (2020). The Implied Truth Effect: Attaching Warnings to a Subset of Fake News Headlines Increases Perceived Accuracy of Headlines Without Warnings. *Management Science*, 66 (11), 4944–4957. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2019.3478>
- Zhou, X., Zafarani, R. (2020). A survey of fake news: Fundamental theories, detection methods, and opportunities. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 53 (5), 1–40. <https://doi.org/10.1145/3395046>
- Shu, K., Bernard, H. R., Liu, H., Agarwal, N., Dokoochaki, N., Tokdemir, S. (Eds.) (2019). *Studying Fake News via Network Analysis: Detection and Mitigation. Emerging Research Challenges and Opportunities in Computational Social Network Analysis and Mining*. Cham: Springer, 43–65. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94105-9_3
- Thorne, J., Vlachos, A. (2018). Automated fact checking: Task formulations, methods and future directions. *Proceedings of the 27th International Conference on Computational Linguistics*, 3346–3359. Available at: <https://aclanthology.org/C18-1283/>
- Hanselowski, A., Zhang, H., Li, Z., Sorokin, D., Schiller, B., Schulz, C., Gurevych, I. (2018). UKP-Athene: Multi-Sentence Textual Entailment for Claim Verification. *Proceedings of the First Workshop on Fact Extraction and VERification (FEVER)*, 103–108. <https://doi.org/10.18653/v1/w18-5516>
- Vysotska, V., Przystupa, K., Kulikov, Y., Chyrun, S., Ushenko, Y., Hu, Z., Uhryn, D. (2025). Recognizing Fakes, Propaganda and Disinformation in Ukrainian Content based on NLP and Machine-learning Technology. *International Journal of Computer Network and Information Security*, 17 (1), 92–127. <https://doi.org/10.5815/ijcnis.2025.01.08>
- Vysotska, V., Chyrun, L., Chyrun, S., Holets, I. (2024). Information technology for identifying disinformation sources and inauthentic chat users' behaviours based on machine learning. *CEUR Workshop Proceedings*. Available at: <https://ceur-ws.org/Vol-3723/paper24.pdf>
- Martseniuk, M., Kozachok, V., Bohdanov, O., Iosifov, I., Brzhevska, Z. (2023). Analysis of methods for detecting misinformation in social networks using machine learning. *Cybersecurity: Education, Science, Technique*, 2 (22), 148–155. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2023.22.148155>
- Berrondo-Otermin, M., Sarasa-Cabezuelo, A. (2023). Application of Artificial Intelligence Techniques to Detect Fake News: A Review. *Electronics*, 12 (24), 5041. <https://doi.org/10.3390/electronics12245041>
- Saeidnia, H. R., Hosseini, E., Lund, B., Tehrani, M. A., Zaker, S., Molaei, S. (2025). Artificial intelligence in the battle against disinformation and misinformation: a systematic review of challenges and approaches. *Knowledge and Information Systems*, 67 (4), 3139–3158. <https://doi.org/10.1007/s10115-024-02337-7>
- Vysotska, V., Przystupa, K., Chyrun, L., Vladov, S., Ushenko, Y., Uhryn, D., Hu, Z. (2024). Disinformation, Fakes and Propaganda Identifying Methods in Online Messages Based on NLP and Machine Learning Methods. *International Journal of Computer Network and Information Security*, 16 (5), 57–85. <https://doi.org/10.5815/ijcnis.2024.05.06>
- Vysotska, V., Nazarkevych, M., Vladov, S., Lozynska, O., Markiv, O., Romanchuk, R., Danylyk, V. (2024). Devising a method for detecting

information threats in the Ukrainian cyber space based on machine learning. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (2 (132)), 36–48. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.317456>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.337036

DESIGNING AN INTELLIGENT SYSTEM FOR PERSONALIZED DEVELOPMENT OF GRAPHOMOTOR SKILLS IN PRESCHOOL CHILDREN BASED ON ANALYSIS OF DEVIATIONS FROM THE STANDARD (p. 52–69)

Aliya Aitymova

Manash Kozybayev North Kazakhstan University,
Petrovsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1128-6924>

Anna Shaporeva

Manash Kozybayev North Kazakhstan University,
Petrovsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6211-5634>

Oxana Kopnova

Manash Kozybayev North Kazakhstan University,
Petrovsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6299-3728>

Anastasia Petrova

Manash Kozybayev North Kazakhstan University,
Petrovsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3343-1822>

Anara Karymsakova

L. N. Gumilyov Eurasian National University,
Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8982-1662>

Gulmira Abildinova

L. N. Gumilyov Eurasian National University,
Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9054-6549>

Kainizhamal Iklassova

Manash Kozybayev North Kazakhstan University,
Petrovsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8330-4282>

Zhanat Aitymov

Teacher
Municipal State-Owned Enterprise "Higher Construction and
Economic College", Petrovsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0451-0644>

This study's object is the process that forms and develops graphomotor skills in preschool children by using digital educational technologies. Graphomotor skills, which are a subset of fine motor skills, are critical for the development of writing and academic success, especially in the early stages of schooling. The problem relates to the lack of individualization, objective diagnostics, and adaptive correction in conventional methods. When teaching using traditional methodology, handwriting analysis is often subjective while the process of skill formation is complex and requires the integration of cognitive, motor, and motivational factors.

The electronic application "Dexterous Fingers" uses mathematical modeling, in particular piecewise linear approximation followed by smoothing with Catmull-Rom splines, for automatic and objective analysis of writing trajectories in real time. This makes it possible not only to quantitatively and qualitatively assess deviations from reference samples but also generate personalized recommendations and tasks. The electronic application maintains a high level of motivation

and involvement of children due to interactive and game elements, and ensures the availability of specialized assistance, especially in resource-limited settings. The application includes an effective monitoring and reporting system, providing parents and teachers with detailed data on the child's progress.

The results after the implementation of the application demonstrate a pronounced positive trend in children in the experimental group. The proportion of children with a high level of graphomotor skills increased to 46%, while the number of children with a low level decreased to 21%.

Keywords: personalized learning, graphomotor skills, digital diagnostics, piecewise linear function, automation of learning, electronic application, graphomotorics.

References

1. Ziviani, J. (2006). The Development of Graphomotor Skills. *Hand Function in the Child*, 217–236. <https://doi.org/10.1016/b978-032303186-8.50014-9>
2. Maurer, M. N., Truxius, L., Sägeser Wyss, J., Eckhart, M. (2023). From Scribbles to Script: Graphomotor Skills' Impact on Spelling in Early Primary School. *Children*, 10 (12), 1886. <https://doi.org/10.3390/children10121886>
3. Józsa, K., Oo, T. Z., Borbélyová, D., Zentai, G. (2023). Exploring the Growth and Predictors of Fine Motor Skills in Young Children Aged 4–8 Years. *Education Sciences*, 13 (9), 939. <https://doi.org/10.3390/educ13090939>
4. Suggate, S. P., Karle, V. L., Kipfelsberger, T., Stoeger, H. (2023). The effect of fine motor skills, handwriting, and typing on reading development. *Journal of Experimental Child Psychology*, 232, 105674. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2023.105674>
5. Mekyska, J., Šafárová, K., Urbanek, T., Bednarova, J., Zvoncak, V., Havigerova, J. M., Cunek, L. et al. (2023). Graphomotor and Handwriting Disabilities Rating Scale (GHDRS): Towards Complex and Objective Assessment. <https://doi.org/10.31234/osf.io/emzpt>
6. Kedar, S., Akash, R., Rohit, T. et al. (2021). Identifying Learning Disability Through Digital Handwriting Analysis. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)*, 12 (1S), 46–56. <https://doi.org/10.17762/turcomat.v12i1s.1557>
7. Truxius, L., Sägeser Wyss, J., Maurer, M. N. (2025). Early handwriting development: a longitudinal perspective on handwriting time, legibility, and spelling. *Frontiers in Psychology*, 15, 1466061. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1466061>
8. Downing, C., Caravolas, M. (2023). Handwriting legibility and fluency and their patterns of concurrent relations with spelling, graphomotor, and selective attention skills. *Journal of Experimental Child Psychology*, 236, 105756. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2023.105756>
9. Puranik, C. S., AlOtaiba, S. (2012). Examining the contribution of handwriting and spelling to written expression in kindergarten children. *Reading and Writing*, 25 (7), 1523–1546. <https://doi.org/10.1007/s11145-011-9331-x>
10. Gosse, C., Parmentier, M., Van Reybroeck, M. (2021). How Do Spelling, Handwriting Speed, and Handwriting Quality Develop During Primary School? Cross-Classified Growth Curve Analysis of Children's Writing Development. *Frontiers in Psychology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.685681>
11. Alkhatlan, A., Kalita, J. (2019). Intelligent Tutoring Systems: A Comprehensive Historical Survey with Recent Developments. *International Journal of Computer Applications*, 181 (43), 1–20. <https://doi.org/10.5120/ijca2019918451>
12. Karymsakova, A., Abildinova, G., Zhilmagambetova, R., Aitymova, A. (2025). "Nimble fingers" electronic application for the development of graphomotor skills in preschoolers: A randomized controlled trial in Kazakhstan. *International Journal of Innovative Research and Scientific Studies*, 8 (3), 156–163. <https://doi.org/10.53894/ijirss.v8i3.6468>

13. Rangasrinivasan, S., Sumi Suresh, M. S., Olszewski, A., Setlur, S., Jayaraman, B., Govindaraju, V. (2025). AI-Enhanced Child Handwriting Analysis: A Framework for the Early Screening of Dyslexia and Dysgraphia. *SN Computer Science*, 6 (5). <https://doi.org/10.1007/s42979-025-03927-0>
14. Mann, A.-M., Hinrichs, U., Quigley, A. (2015). Digital Pen Technology's Suitability to Support Handwriting Learning. The Impact of Pen and Touch Technology on Education, 7–22. https://doi.org/10.1007/978-3-319-15594-4_2
15. Demirci, O., Yilmaz, G. G., Köse, B. (2025). Artificial intelligence-supported occupational therapy program on handwriting skills in children at risk for developmental coordination disorder: Randomized controlled trial. *Research in Developmental Disabilities*, 161, 105009. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2025.105009>
16. Kopnova, O. L., Aytymova, A. M., Abildinova, G. M., Safaraliev, B. S., Koleva, N. S., Panova, M. V. (2024). Assessment of the level of formation of graphomotor skills of preschool and primary school students using graphic tablets. *Modern High Technologies*, 1 (5), 154–159. <https://doi.org/10.17513/snt.40021>
17. Ceccacci, S., Taddei, A., Del Bianco, N., Giaconi, C., Forteza Forteza, D., Moreno-Tallón, F. (2024). Preventing Dysgraphia: Early Observation Protocols and a Technological Framework for Monitoring and Enhancing Graphomotor Skills. *Information*, 15 (12), 781. <https://doi.org/10.3390/info15120781>
18. Khasanah, U., Chusna, N. L., Fatonah, U. (2023). Development of Fine Motor Skills for Early Childhood Based on Augmented Reality. *Proceedings of the International Seminar and Conference on Educational Technology (ISCET 2022)*, 67–77. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-236-1_8
19. Han, W., Wang, T. (2025). From Motor Skills to Digital Solutions: Developmental Dysgraphia Interventions over Two Decades. *Children*, 12 (5), 542. <https://doi.org/10.3390/children12050542>
20. Iklassova, K., Aytymova, A., Kopnova, O., Shaporeva, A., Abildinova, G., Nurbekova, Z. et al. (2024). Ontology modeling for automation of questionnaire data processing. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (2 (131)), 36–52. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.314129>
21. Iklassova, K., Aytymova, A., Kopnova, O., Sarzhanova, A., Abildinova, G., Kushumbayev, A., Aytymov, Z. (2024). Construction of a fuzzy model for managing the process of forming IT-competences. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (3 (129)), 32–43. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.306183>
22. Aytymova, A., Iklassova, K., Abildinova, G., Shaporeva, A., Kopnova, O., Kushumbayev, A. et al. (2023). Development of a model of information process management in the information and educational environment of preschool education organizations. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (3 (122)), 95–105. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.276253>
23. Kunthoth, J., Al-Maadeed, S., Kunthoth, S., Akbari, Y. (2022). Automated Systems for Diagnosis of Dysgraphia in Children: A Survey and Novel Framework. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2206.13043>
24. Peng, H., Ma, S., Spector, J. M. (2019). Personalized adaptive learning: an emerging pedagogical approach enabled by a smart learning environment. *Smart Learning Environments*, 6 (1). <https://doi.org/10.1186/s40561-019-0089-y>
25. Sinvani, R.-T., Golos, A., Ben Zagmi, S., Gilboa, Y. (2023). The Relationship between Young Children's Graphomotor Skills and Their Environment: A Cross-Sectional Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20 (2), 1338. <https://doi.org/10.3390/ijerph20021338>
26. Dui, L. G., Calogero, E., Malavolti, M., Termine, C., Matteucci, M., Ferrante, S. (2021). Digital Tools for Handwriting Proficiency Evaluation in Children. 2021 IEEE EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics (BHI), 1–4. <https://doi.org/10.1109/bhi50953.2021.9508539>
27. van der Meer, A. L. H., van der Weel, F. R. (Ruud). (2017). Only Three Fingers Write, but the Whole Brain Works†: A High-Density EEG Study Showing Advantages of Drawing Over Typing for Learning. *Frontiers in Psychology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00706>
28. Kadar, M., Wan Yunus, F., Tan, E., Chai, S. C., Razaob@Razab, N. A., Mohamat Kasim, D. H. (2019). A systematic review of occupational therapy intervention for handwriting skills in 4–6 year old children. *Australian Occupational Therapy Journal*, 67 (1), 3–12. <https://doi.org/10.1111/1440-1630.12626>
29. Edwards, L. (2003). Writing Instruction in Kindergarten. *Journal of Learning Disabilities*, 36 (2), 136–148. <https://doi.org/10.1177/002221940303600206>
30. Koran, N., Berkmen, B., Adaher, A. (2021). Mobile technology usage in early childhood: Pre-COVID-19 and the national lockdown period in North Cyprus. *Education and Information Technologies*, 27 (1), 321–346. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10658-1>
31. Kunthoth, J., Al-Maadeed, S., Kunthoth, S., Akbari, Y., Saleh, M. (2024). Automated systems for diagnosis of dysgraphia in children: a survey and novel framework. *International Journal on Document Analysis and Recognition (IJDAR)*, 27 (4), 707–735. <https://doi.org/10.1007/s10032-024-00464-z>
32. Couse, L. J., Chen, D. W. (2010). A Tablet Computer for Young Children? Exploring its Viability for Early Childhood Education. *Journal of Research on Technology in Education*, 43 (1), 75–96. <https://doi.org/10.1080/15391523.2010.10782562>
33. Abaevna, A. (2025). Effective Use of Digital Technologies in Primary School. *Eurasian Science Review An International Peer-Reviewed Multidisciplinary Journal*, 1 (3), 2286–2298. <https://doi.org/10.63034/esr-377>
34. Kurniawan, A. P., Sartono, N. N., Zikra, F. A., Ulwan, A. I. (2019). Multimedia Augmented Reality Technology in Daily Basic Knowledge Learning Media for Early Childhood and Kindergarten. *IJAIT (International Journal of Applied Information Technology)*, 3 (01), 18. <https://doi.org/10.25124/ijait.v3i01.2493>
35. Šafárová, K., Mekyska, J., Urbánek, T., Čunek, L., Galáž, Z., Mucha, J. et al. (2022). Grafomotorické dovednosti. *Nakladatelství Masarykovy university*. <https://doi.org/10.5817/cz.muni.m280-0257-2022>
36. Mayer, C., Wallner, S., Budde-Spengler, N., Braunert, S., Arndt, P. A., Kiefer, M. (2020). Literacy Training of Kindergarten Children With Pencil, Keyboard or Tablet Stylus: The Influence of the Writing Tool on Reading and Writing Performance at the Letter and Word Level. *Frontiers in Psychology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.03054>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.338128

IMPLEMENTATION OF TERM FREQUENCY-INVERSE DOCUMENT FREQUENCY (TF-IDF) AND WORD2VEC IN TRADITIONAL MEDICINE RECOMMENDATION SYSTEM BASED ON CONTENT-BASED FILTERING (p. 70–80)

Rika Yunitarini

Trunojoyo University, East Java, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8225-1051>

Dwi Aqilah Pradita

Trunojoyo University, East Java, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0068-2082>

Ernaning Widiaswanti

Trunojoyo University, East Java, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4713-9235>

According to World Health Organization (WHO), traditional medicine is the culmination of all the knowledge, abilities, and practices derived from the theories, beliefs, and experiences that are unique to various cultures and that are used to maintain health as

well as to prevent, diagnose, treat, or improve physical and mental illness. recently classified traditional herbal therapy as comprised of medicinal techniques that have existed, frequently for hundreds of years, prior to the establishment of modern medicine. The lack of easily accessible information regarding the description and efficiency of traditional medicine makes it difficult for users to understand the benefits of each type of traditional medicine. Because of this, a recommendation system is needed that aims to facilitate users in finding traditional medicine that suit their preferences. This research proposes a traditional medicine recommendation system with the content-based filtering method using a combination of term frequency-invers document frequency and Word2Vec feature extraction. This method analyzes the traditional medicine description text and recommends based on word weights and semantic relationships between words. Results show optimal performance at dimensions 50–200 and window sizes 9–15 for the combination of term frequency-invers document frequency and Word2Vec, while term frequency-invers document frequency alone reaches 80% of accuracy and Word2Vec has lower performance (4–14%) across a wide range of parameter experiments. Based on optimal result above, this recommendation system can be applied to obtain information of traditional medicine that suitable with people needed by adjust the best model of dimensions and window size.

Keywords: content-based filtering, dimension, feature extraction, recommendation system, semantic relationship, term frequency-invers document frequency (TF-IDF), traditional medicine, window size, Word2Vec, word weight.

References

- Che, C.-T., George, V., Ijiru, T. P., Pushpangadan, P., Andrae-Marobela, K. (2024). Traditional medicine. *Pharmacognosy*. Academic Press, 11–28. <https://doi.org/10.1016/b978-0-443-18657-8.00037-2>
- WHO traditional medicine strategy: 2014–2023 (2013). World Health Organization. Available at: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/92455/1/9789241506090_eng.pdf Last accessed: 20.05.2025
- Bodeker, G., Graz, B., Ryan, E. T., Hill, D. R., Solomon, T., Aronson, N. E., Endy, T. P. (Eds.) (2020). *Traditional Medicine. Hunter's Tropical Medicine and Emerging Infectious Diseases*. Elsevier, 194–199. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-55512-8.00025-9>
- Kamboj, V. P. (2000). Herbal medicine. *Current Science*, 78 (1), 35–39.
- Pal, S. K., Shukla, Y. (2003). Herbal medicine: Current status and the future. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 4, 281–288. Available at: https://www.researchgate.net/profile/Sanjay-Pal-2/publication/8914668_Herbal_medicine_Current_status_and_the_future/links/0c96051fd33d11991d000000/Herbal-medicine-Current-status-and-the-future.pdf
- WHO global report on traditional and complementary medicine 2019 (2019). Geneva: World Health Organization, 226. Available at: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/312342/9789241515436-eng.pdf?sequence=1>
- Sianipar, E. A. (2021). The potential of Indonesian traditional herbal medicine as immunomodulatory agents: A review. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 12 (10), 5229–5237. [https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.12\(10\).5229-37](https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.12(10).5229-37)
- Pradipta, I. S., Aprilio, K., Febriyanti, R. M., Ningsih, Y. F., Pratama, M. A. A., Indradi, R. B. et al. (2023). Traditional medicine users in a treated chronic disease population: a cross-sectional study in Indonesia. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 23 (1). <https://doi.org/10.1186/s12906-023-03947-4>
- Muharrami, L. K., Santoso, M., Fatmawati, S. (2024). Traditional Medicine Uses of Madurese Ethnic, Indonesia: Indigenous Knowledge "Jamu" in Relation with Medicinal Plants. *Journal of Hunan University Natural Sciences*, 51 (10). <https://doi.org/10.55463/issn.1674-2974.51.10.2>
- Yunitarini, R., Widiawanti, E. (2024). Analysis and Design of Indonesian Traditional Medicine (Jamu) Information System by using Prototyping Model (Case Study: Madura Island). *E3S Web of Conferences*, 483, 03012. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202448303012>
- Vall, A., Dorfer, M., Eghbal-zadeh, H., Schedl, M., Burjorjee, K., Widmer, G. (2019). Feature-combination hybrid recommender systems for automated music playlist continuation. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 29 (2), 527–572. <https://doi.org/10.1007/s11257-018-9215-8>
- Widayanti, R., Chakim, M., Lukita, C., Rahardja, U., Lutfiani, N. (2023). Improving Recommender Systems using Hybrid Techniques of Collaborative Filtering and Content-Based Filtering. *Journal of Applied Data Sciences*, 4 (3), 289–302. <https://doi.org/10.47738/jads.v4i3.115>
- Van Balen, J., Goethals, B. (2021). High-dimensional Sparse Embeddings for Collaborative Filtering. *Proceedings of the Web Conference 2021*. Ljubljana, 575–581. <https://doi.org/10.1145/3442381.3450054>
- Gunarto, S. A., Honggara, E. S., Purwanto, D. D. (2023). Website Sistem Rekomendasi dengan Content Based Filtering pada Produk Perawatan Kulit. *Jurnal Sistem Dan Teknologi Informasi*, 11 (3), 399. <https://doi.org/10.26418/justin.v11i3.59049>
- Nastiti, P. (2019). Penerapan Metode Content Based Filtering Dalam Implementasi Sistem Rekomendasi Tanaman Pangan. *Teknika*, 8 (1), 1–10. <https://doi.org/10.34148/teknika.v8i1.139>
- Huda, A. A., Fajarudin, R., Hadinegoro, A. (2022). Sistem Rekomendasi Content-based Filtering Menggunakan TF-IDF Vector Similarity Untuk Rekomendasi Artikel Berita. *Building of Informatics, Technology and Science*, 4 (3), 1679–1686. <https://doi.org/10.47065/bits.v4i3.2511>
- Putri, M. W., Muchayan, A., Kamisutara, M. (2020). Sistem Rekomendasi Produk Pena Eksklusif Menggunakan Metode Content-Based Filtering dan TF-IDF. *Journal of Information Technology and Computer Science*, 5 (3), 229. <https://doi.org/10.31328/jointecs.v5i3.1563>
- Negara, E. S., Sulaiman, Andryani, R., Saksono, P. H., Widyanti, Y. (2023). Recommendation System with Content-Based Filtering in NFT Marketplace. *Journal of Advances in Information Technology*, 14 (3), 518–522. <https://doi.org/10.12720/jait.14.3.518-522>
- Nawangsari, R. P., Kusumaningrum, R., Wibowo, A. (2019). Word2Vec for Indonesian Sentiment Analysis towards Hotel Reviews: An Evaluation Study. *Procedia Computer Science*, 157, 360–366. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.08.178>
- Khomsah, S. (2021). Sentiment Analysis on YouTube Comments Using Word2Vec and Random Forest. *Telematika*, 18 (1), 61–72. <https://doi.org/10.31315/telematika.v18i1.4493>
- Ramadhanti, N. R., Mariyah, S. (2019). Document Similarity Detection Using Indonesian Language Word2vec Model. 2019 3rd International Conference on Informatics and Computational Sciences (ICICoS). Semarang: IEEE, 1–6. <https://doi.org/10.1109/icicos48119.2019.8982432>
- Cahyani, S. N., Saraswati, G. W. (2023). Implementation of support vector machine method in classifying school library books with combination of TF-IDF and WORD2VEC. *Jurnal Teknik Informatika*, 4 (6), 1555–1566. <https://doi.org/10.52436/1.jutif.2023.4.6.1536>
- Liang, M., Niu, T. (2022). Research on Text Classification Techniques Based on Improved TF-IDF Algorithm and LSTM Inputs. *Procedia Computer Science*, 208, 460–470. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.10.064>
- Nurfalah, F., Asriyanik, Pambudi, A. (2022). Sistem Rekomendasi Event Online Menggunakan Metode Content Based Filtering. *Elkom: Jurnal Elektronika Dan Komputer*, 15 (2), 271–279. <https://doi.org/10.51903/elkom.v15i2.736>
- Irvandani, A., Auliasari, K., Primaswara Prasetya, R. (2020). Sistem Rekomendasi Pemilihan Fotografer dengan Metode Haversine dan TF-IDF di Malang Raya. *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*, 4 (1), 137–146. <https://doi.org/10.36040/jati.v4i1.2330>

26. Yutika, C. H., Adiwijaya, A., Faraby, S. A. (2021). Analisis Sentimen Berbasis Aspek pada Review Female Daily Menggunakan TF-IDF dan Naïve Bayes. *Jurnal Media Informatika Budidarma*, 5 (2), 422. <https://doi.org/10.30865/mib.v5i2.2845>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.338124

SUBSTANTIATING THE YOLO11 ARCHITECTURE FOR DETERMINING THE FRACTIONAL COMPOSITION OF WINTER WHEAT GRAIN MIXTURES (p. 81–92)

Serhii Stepanenko

Institute of Mechanics and Automatics
of Agroindustrial Production of the National Academy
of Agrarian Sciences of Ukraine, Hlevakha vil., Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8331-4632>

Alvian Kuzmych

Institute of Mechanics and Automatics
of Agroindustrial Production of the National Academy
of Agrarian Sciences of Ukraine, Hlevakha vil., Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3102-0840>

Andrii Borys

Institute of Mechanics and Automatics
of Agroindustrial Production of the National Academy
of Agrarian Sciences of Ukraine, Hlevakha vil., Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2874-7053>

Viktor Dnes

Institute of Mechanics and Automatics
of Agroindustrial Production of the National Academy
of Agrarian Sciences of Ukraine, Hlevakha vil., Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4166-2276>

Serhii Kharchenko

Lublin University of Technology, Lublin, Poland
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4883-2565>

Ivan Rogovskii

National University of Life and
Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6957-1616>

Gennadii Golub

National University of Life and
Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2388-0405>

Mykola Berezovyi

National University of Life and
Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9221-9787>

Andrii Lutsiuk

PhD Student
Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5622-5215>

This study's object is the process of determining the fractional composition of winter wheat grain mixtures using computer vision and deep learning methods. The basic task that needs to be solved is the high complexity, subjectivity, and speed of determining the fractional composition of grain by conventional methods.

The results obtained demonstrate the successful training and comparative analysis of several YOLO11-seg instance segmentation models on a specialized dataset deployed on the NVIDIA Jetson Orin platform. In particular, the YOLO11m-seg model with an image size of 640 × 640 pixels achieved the optimal compromise between accuracy and speed, achieving a Mask mAP50-95 index of 0.558 at an output speed of 62.5 ms/image. Training the YOLO11n-seg 1280 × 1280 model pro-

vided the best average segmentation accuracy (Mask mAP50-95 0.640) by increasing the performance of identifying objects of "complex" classes, which are key for accurate determination of the fractional composition.

The results have made it possible to solve the problem under consideration through the empirically justified choice of architecture. Unlike hypothetical approaches, the study provides specific quantitative data on the performance of different YOLO11-seg architectures. That allowed for a reasonable selection of the model that best meets the requirements for accuracy and speed for practical deployment, solving the problem of uncertainty in the choice of architecture.

The findings create the basis for automating grain quality control, increasing its efficiency, objectivity, and also significantly reducing labor intensity by automating routine operations. For practical use of the system, it is necessary to ensure stable lighting conditions, as well as the presence of a digital camera, a computer, and appropriate software.

Keywords: machine vision, image segmentation, YOLO, grain mixtures, winter wheat, fractional composition.

References

- Walker, C. K., Assadzadeh, S., Wallace, A. J., Delahunty, A. J., Clancy, A. B., McDonald, L. S. et al. (2023). Technologies and Data Analytics to Manage Grain Quality On-Farm – A Review. *Agronomy*, 13 (4), 1129. <https://doi.org/10.3390/agronomy13041129>
- Barbedo, J. G. A. (2025). A Review of Artificial Intelligence Techniques for Wheat Crop Monitoring and Management. *Agronomy*, 15 (5), 1157. <https://doi.org/10.3390/agronomy15051157>
- Looh, G. A., Xie, F., Wang, X., Looh, A. N., Hind, H. (2025). Grain kernel damage during threshing: a comprehensive review of theories and models. *Journal of Agricultural Engineering*. <https://doi.org/10.4081/jae.2025.1674>
- Stepanenko, S., Kotov, B., Kuzmych, A., Kalinichenko, R., Hryshchenko, V. (2023). Research of the process of air separation of grain material in a vertical zigzag channel. *Journal of Central European Agriculture*, 24 (1), 225–235. <https://doi.org/10.5513/jcea01/24.1.3732>
- Zhao, W., Liu, S., Li, X., Han, X., Yang, H. (2022). Fast and accurate wheat grain quality detection based on improved YOLOv5. *Computers and Electronics in Agriculture*, 202, 107426. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107426>
- Saini, M., Singh, J., Prakash, N. R. (2014). Analysis of Wheat Grain Varieties Using Image Processing: A Review. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 3 (6), 490–495. Available at: <https://www.ijsr.net/getabstract.php?paperid=2014254>
- Rong, D., Wang, H., Xie, L., Ying, Y., Zhang, Y. (2020). Impurity detection of juglans using deep learning and machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture*, 178, 105764. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105764>
- Gupta, P. K., Wao, A. A. (2024). Analyzing machine learning methods to enhance grain quality assessment and evolution. *ShodhKosh: Journal of Visual and Performing Arts*, 5 (1). <https://doi.org/10.29121/shodhkosh.v5.i1.2024.1876>
- Sirohi, A., Malik, A. (2021). A Hybrid Model for the Classification of Sunflower Diseases Using Deep Learning. 2021 2nd International Conference on Intelligent Engineering and Management (ICIEM), 58–62. <https://doi.org/10.1109/iciem51511.2021.9445342>
- Ünal, Y., Dudak, M. N. (2024). Deep Learning Approaches for Sunflower Disease Classification: A Study of Convolutional Neural Networks with Squeeze and Excitation Attention Blocks. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 13 (1), 247–258. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.1380995>
- Hu, K., Coleman, G., Zeng, S., Wang, Z., Walsh, M. (2020). Graph weeds net: A graph-based deep learning method for weed recognition. *Computers and Electronics in Agriculture*, 174, 105520. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105520>

12. Kaldarova, M., Akanova, A., Nazyrova, A., Mukanova, A., Tynykulo-va, A. (2023). Identification of weeds in fields based on computer vision technology. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (2 (124)), 44–52. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.284600>
13. Qiu, Z., Wang, F., Wang, W., Li, T., Jin, X., Qing, S., Shi, Y. (2024). YOLO-SDL: a lightweight wheat grain detection technology based on an improved YOLOv8n model. *Frontiers in Plant Science*, 15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1495222>
14. Dang, F., Chen, D., Lu, Y., Li, Z. (2023). YOLOWeeds: A novel bench- mark of YOLO object detectors for multi-class weed detection in cotton production systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, 205, 107655. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107655>
15. Sharma, D., Sawant, S. D. (2017). Grain quality detection by using im- age processing for public distribution. 2017 International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS), 1118–1122. <https://doi.org/10.1109/iccons.2017.8250640>
16. Kaya, E., Saritas, İ. (2019). Towards a real-time sorting system: Iden- tification of vitreous durum wheat kernels using ANN based on their morphological, colour, wavelet and gaborlet features. *Computers and Electronics in Agriculture*, 166, 105016. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105016>
17. Kong, Q., Ma, N. (2025). Wheat grain appearance quality detection based on improved YOLOv8n. *INMATEH Agricultural Engineering*, 356–365. <https://doi.org/10.35633/inmateh-75-30>
18. Shen, Y., Yin, Y., Li, B., Zhao, C., Li, G. (2021). Detection of impurities in wheat using terahertz spectral imaging and convolutional neural networks. *Computers and Electronics in Agriculture*, 181, 105931. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105931>
19. Ma, N., Su, Y., Yang, L., Li, Z., Yan, H. (2024). Wheat Seed Detection and Counting Method Based on Improved YOLOv8 Model. *Sensors*, 24 (5), 1654. <https://doi.org/10.3390/s24051654>
20. Fan, L., Ding, Y., Fan, D., Di, D., Pagnucco, M., Song, Y. (2022). Grain- Space: A Large-scale Dataset for Fine-grained and Domain-adaptive Recognition of Cereal Grains. 2022 IEEE/CVF Conference on Com- puter Vision and Pattern Recognition (CVPR), 21084–21093. <https://doi.org/10.1109/cvpr52688.2022.02044>
21. Zhang, J., Min, A., Steffenson, B. J., Su, W.-H., Hirsch, C. D., Ander- son, J. et al. (2022). Wheat-Net: An Automatic Dense Wheat Spike Seg- mentation Method Based on an Optimized Hybrid Task Cascade Model. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.834938>
22. Guo, X., Wang, J., Gao, G., Cheng, Z., Qiao, Z., Zhang, R. et al. (2025). LWheatNet: a lightweight convolutional neural network with mixed attention mechanism for wheat seed classification. *Frontiers in Plant Science*, 15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1509656>
23. Stepanenko, S., Kuzmych, A., Kharchenko, S., Andrey, B., Dnes, V., Volyk, D., Kalinichenko, R. (2025). A Machine Vision Approach for Grain Quality Control During Separation. *Journal of Engineering Sciences*, 12 (1), E9–E17. [https://doi.org/10.21272/jes.2025.12\(1\).e2](https://doi.org/10.21272/jes.2025.12(1).e2)
24. NVIDIA® Jetson AGX Orin™ 64GB Developer Kit. Stereolabs.
25. Segmentation Models. Ultralytics. Available at: <https://docs.ultralytics.com/tasks/segment/#models>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.338000

DEVELOPMENT OF A ZERO-SHOT CLASSIFICATION METHOD FOR CROSS-REGIONAL CROP MAPPING DEMONSTRATING DOMAIN TRANSFERABILITY IN SENTINEL-2 IMAGERY (p. 93–101)

Artughrul Gayibov

Baku Engineering University, Khirdalan, Azerbaijan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7349-0286>

The object of the study is zero-shot crop-type classification in a data-poor target region (Karabakh, Azerbaijan) using a single-date Sentinel-2 composite, with the classifier trained on labeled parcels

from a data-rich source region (central France). Cross-regional de- ployment of crop classifiers is impeded by domain shift differences in phenology, management, and sensor-band responses and by the absence of local labels, which together degrade accuracy and trust in operational maps. Cloud-free July-2021 median composites were produced in Google Earth Engine, a fourteen-band stack (core optical bands plus NDVI, NDRE, NDWI, NDMI) was assembled, four super- vised algorithms were trained on balanced French parcels, validated using overall accuracy and Cohen's κ , and then applied zero-shot to Karabakh. Random Forest yielded 94.6% accuracy on French vali- dation and, after instance reweighting and feature normalization, delivered spatially coherent predictions in Karabakh. The pipeline's combination of harmonized inputs, index-augmented spectra, and lightweight domain correction enabled transfer without target-region labels, generating confidence-aware maps suitable for rapid decision support. Growth-stage mismatch and spectral sensitivity are the main causes of performance differences, red-edge information was essen- tial for distinguishing structurally similar crops, and moisture indices helped with irrigation-induced discrimination. The approach is most effective under peak-season, cloud-free conditions with comparable agro-ecological settings and a harmonized crop taxonomy, it requires only open Sentinel-2 data, a cropland mask, and standard ML tools in GEE, supporting scalable, repeatable assessments where ground truth is scarce.

Keywords: crop classification, domain transferability, remote sensing, machine learning, zero-shot classification.

References

1. Hoppe, H., Dietrich, P., Marzahn, P., Weiß, T., Nitzsche, C., Freiherr von Lukas, U. et al. (2024). Transferability of Machine Learning Mod- els for Crop Classification in Remote Sensing Imagery Using a New Test Methodology: A Study on Phenological, Temporal, and Spatial Influences. *Remote Sensing*, 16 (9), 1493. <https://doi.org/10.3390/rs16091493>
2. Rodriguez-Galiano, V. F., Ghimire, B., Rogan, J., Chica-Olmo, M., Rigol-Sanchez, J. P. (2012). An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for land-cover classification. *ISPRS Jour- nal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 67, 93–104. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2011.11.002>
3. Saini, R., Ghosh, S. K. (2018). Crop classification on single date Sentinel-2 imagery using Random Forest and Support Vector Ma- chine. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-5, 683–688. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlii-5-683-2018>
4. Sonobe, R., Yamaya, Y., Tani, H., Wang, X., Kobayashi, N., Mochizu- ki, K. (2018). Crop classification from Sentinel-2-derived vegetation indices using ensemble learning. *Journal of Applied Remote Sensing*, 12 (2). <https://doi.org/10.1117/1.jrs.12.026019>
5. Thanh Noi, P., Kappas, M. (2017). Comparison of Random Forest, k-Nearest Neighbor, and Support Vector Machine Classifiers for Land Cover Classification Using Sentinel-2 Imagery. *Sensors*, 18 (1), 18. <https://doi.org/10.3390/s18010018>
6. Vuolo, F., Neuwirth, M., Immitzer, M., Atzberger, C., Ng, W.-T. (2018). How much does multi-temporal Sentinel-2 data improve crop type classification? *International Journal of Applied Earth Ob- servation and Geoinformation*, 72, 122–130. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.06.007>
7. Pelletier, C., Valero, S., Inglada, J., Champion, N., Dedieu, G. (2016). Assessing the robustness of Random Forests to map land cover with high resolution satellite image time series over large areas. *Re- mote Sensing of Environment*, 187, 156–168. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.10.010>
8. Orynbaikyzy, A., Gessner, U., Conrad, C. (2022). Spatial Transfer- ability of Random Forest Models for Crop Type Classification Using

- Sentinel-1 and Sentinel-2. *Remote Sensing*, 14 (6), 1493. <https://doi.org/10.3390/rs14061493>
9. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
 10. Zanaga, D., Van De Kerchove, R., Kirches, G., Daems, D., De Keersmaecker, W., Brockmann, C., Arino, O. (2022). ESA WorldCover 10 m 2021 v200: global land cover map. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7254221>
 11. Attard, G., Bardonnnet, J. (2020). RPG Version 2.0. Registre Parcellaire Graphique. Available at: https://geodatafr.github.io/IGN/RPG_Agricultural-parcels/
 12. Pettorelli, N., Vik, J. O., Mysterud, A., Gaillard, J.-M., Tucker, C. J., Stenseth, N. Chr. (2005). Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology & Evolution*, 20 (9), 503–510. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.05.011>
 13. Gitelson, A. A., Merzlyak, M. N. (1997). Remote estimation of chlorophyll content in higher plant leaves. *International Journal of Remote Sensing*, 18 (12), 2691–2697. <https://doi.org/10.1080/014311697217558>
 14. McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17 (7), 1425–1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
 15. Gao, B. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58 (3), 257–266. [https://doi.org/10.1016/s0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/s0034-4257(96)00067-3)

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.338164

DEVELOPMENT OF INFORMATION TECHNOLOGY TO OPTIMIZE THE SPEED OF A STEAM GENERATOR CONTROL SYSTEM WITH THE IDENTIFICATION OF NONLINEAR MODELS (p. 102–109)

Olena Nikulina

National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2938-4215>

Valerii Severyn

National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2969-6780>

Nina Kotsiuba

National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0017-7426>

Andrii Pashniev

National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9150-6108>

Andrii Usyk

National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0009-0008-8945-8902>

This study's object is the process that controls water level in steam generator at a nuclear power plant. The task considered is to optimize the speed of operation and automatic control system of the steam generator.

Optimization information technology for water level control system in steam generator has been proposed, based on nonlinear mathematical models and level objective functions. Nonlinear mathematical model of control system has been considered, which is built to optimize quality indexes of the system.

Applying the developed algorithms, computational experiments were performed to identify and optimize parameters of control system by optimizing level objective functions. Values for 41 parameters in the model of a water level control system in PGV-1000 steam generator were determined. The resulting value for mean square deviation of the model's processes from experimental ones equals 0.43%, which is 54% less than when using linear model. As a result of optimizing water level control system when load is dropped by 20%, a minimum control time of 146 s was achieved. A change in the water level in a steam generator did not exceed 24% of maximum allowable value.

A special feature of the devised optimization information technology for control system is that the level objective function includes all information about optimization problem of a nonlinear control system. This simplifies algorithms and software for solving optimization problems in complex control systems. The technology for optimizing nonlinear control systems considered here could make it possible to increase degree of scientific validity of technical projects for improving various applied and promising control systems.

Keywords: optimization information technology, steam generator control, nonlinear model, parameter identification.

References

1. Wan, J., Xie, J., Wang, P., Su, G. H., Wu, S. (2022). Control system design for the once-through steam generator of lead–bismuth cooled reactor based on classical control theory. *Annals of Nuclear Energy*, 175, 109214. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2022.109214>
2. Li, C., Yu, R., Yu, W., Wang, T. (2022). Pressure control of Once-through steam generator using Proximal policy optimization algorithm. *Annals of Nuclear Energy*, 175, 109232. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2022.109232>
3. Qiu, L., Sun, A., Wang, H., Zhang, R., Jiang, G., Sun, P. et al. (2022). Study on water level control system of natural circulation steam generator. *Progress in Nuclear Energy*, 153, 104436. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2022.104436>
4. Kumar, V., Chandra Mishra, K., Singh, P., Narayan Hati, A., Rao Mamdakar, M., Kumar Singh, L. et al. (2022). Reliability analysis and safety model checking of Safety-Critical and control Systems: A case study of NPP control system. *Annals of Nuclear Energy*, 166, 108812. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2021.108812>
5. Xu, Z., Fan, Q., Zhao, J. (2020). Gain-Scheduled Equivalent-Cascade IMC Tuning Method for Water Level Control System of Nuclear Steam Generator. *Processes*, 8 (9), 1160. <https://doi.org/10.3390/pr8091160>
6. Umurzakova, D. (2021). System of automatic control of the level of steam power generators on the basis of the regulation circuit with smoothing of the signal. *IJUM Engineering Journal*, 22 (1), 287–297. <https://doi.org/10.31436/ijumej.v22i1.1415>
7. Demerdash, N. A., El-Hameed, M. A., Eisawy, E. A., El-Arini, M. M. (2020). Optimal feed-water level control for steam generator in nuclear power plant based on meta-heuristic optimization. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 13 (1), 468–484. <https://doi.org/10.1080/16878507.2020.1748350>
8. Kong, X., Shi, C., Liu, H., Geng, P., Liu, J., Fan, Y. (2022). Performance Optimization of a Steam Generator Level Control System via a Revised Simplex Search-Based Data-Driven Optimization Methodology. *Processes*, 10 (2), 264. <https://doi.org/10.3390/pr10020264>
9. Li, X., Kong, X., Shi, C., Shi, J., Yang, Z. (2023). Performance Optimization Method of Steam Generator Liquid Level Control Based on Hybrid Iterative Model Reconstruction. *Engineering Proceedings*, 37 (1), 111. <https://doi.org/10.3390/ecp2023-14628>
10. Li, X., Yang, Z., Yang, Y., Kong, X., Shi, C., Shi, J. (2023). GK-SPSA-Based Model-Free Method for Performance Optimization of Steam Generator Level Control Systems. *Energies*, 16 (24), 8050. <https://doi.org/10.3390/en16248050>

11. Yang, Z., Kong, X., Geng, P., Li, X., Shi, C. (2024). HK-SPSA based performance optimization method for steam generator liquid level control. *Annals of Nuclear Energy*, 198, 110326. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2023.110326>
12. Ma, Q., Fan, Z., Zhang, X., Sun, P., Wei, X. (2024). Water level control of U-tube steam generator based on model-based active disturbance rejection control method. *Annals of Nuclear Energy*, 206, 110618. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2024.110618>
13. Peng, B., Ma, X., Xia, H. (2024). Water level control of nuclear steam generators using intelligent hierarchical autonomous controller. *Frontiers in Energy Research*, 12. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2024.1341103>
14. Liu, F., Jiang, Y., Li, Y., Peng, H., Wang, J., Peng, T. (2024). Parameter Optimization of Steam Generator Water Level Control System Based on Piecewise ARX Modeling. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 71 (2), 135–153. <https://doi.org/10.1109/tns.2024.3358561>
15. Nikulina, O. M., Severyn, V. P., Kotsiuba, N. V. (2020). Development of information technology for optimizing the control of complex dynamic systems. *Bulletin of National Technical University "KhPI". Series: System Analysis, Control and Information Technologies*, 2 (4), 63–69. <https://doi.org/10.20998/2079-0023.2020.02.11>
16. Nikulina, O. M., Severyn, V. P. (2024). Chyselni metody modeliuвання ta optymizatsii upravlinnia dynamichnyh systemamy. *Kharkiv: NTU "KhPI"*, 144. Available at: <https://repository.kpi.kharkov.ua/items/4ed4d845-ee7d-41ad-91bf-78c10de5c384>
17. Nikulina, O., Severin, V., Kotsiuba, N. (2022). Parametric synthesis of control systems for the steam generator of a nuclear power plant. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (2 (115)), 77–84. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253126>
18. Severyn, V., Nikulina, E. (2021). Application of information technology for modeling the control dynamics of a nuclear reactor zoning on the vertical axis. *International Scientific Technical Journal "Problems of Control and Informatics"*, 66 (5), 45–56. <https://doi.org/10.34229/1028-0979-2021-5-4>
19. Nikulina, O., Severyn, V., Kotsiuba, N., Bubnov, A. (2021). Simulation of thermal processes of a NPP steam generator for information technology optimized control. *Bulletin of National Technical University "KhPI". Series: System Analysis, Control and Information Technologies*, 1 (5), 56–61. <https://doi.org/10.20998/2079-0023.2021.01.09>
20. Nikulina, O., Severyn, V., Bubnov, A., Kondratov, O. (2022). Development of nonlinear model of NPP steam generator for information technology of control optimization. *Bulletin of National Technical University "KhPI". Series: System Analysis, Control and Information Technologies*, 1 (7), 21–27. <https://doi.org/10.20998/2079-0023.2022.01.04>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.332483

EVALUATION OF AN IMMERSIVE VIRTUAL REALITY-BASED POSITION CONTROL INTERFACE FOR A SCARA ROBOTIC ARM (p. 110–116)

Victor Condori

Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Peru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9519-2730>

Jaime Castillo

Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Peru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4305-9653>

Alfredo Mamani

Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Peru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9890-4050>

Lizardo Pari

Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Peru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6580-2149>

This research explores the use of SCARA robotic arms operated through Immersive Virtual Reality (IVR) interfaces, enhancing human-robot interaction for remote manipulation tasks. The problem addressed is the limited understanding of how non-expert users perform with such systems in teleoperation, compared to conventional control methods. While IVR offers immersive interaction, its effectiveness for users with limited teleoperation experience remains underexplored. To address this, an IVR-based system was developed to allow natural user interaction for executing pick-and-place tasks. Users control robotic arms in real time within a virtual environment using hand gestures and spatial interaction. Experimental evaluation involved twelve participants performing standardized tasks with both IVR and conventional interfaces. Performance was measured through execution time, success rate, and user experience using NASA-TLX and SUS metrics. The results show that the IVR reduces overall mental workload by approximately 45% and improves perceived usability by 15.9 points out of 100 compared to the traditional interface. Compared to conventional interfaces, participants completed tasks faster, with higher success rates and lower mental and physical demand. These improvements are due to the immersive nature of the IVR environment, which enhances spatial awareness and simplifies control of the robotic system. Real-time visual feedback further contributed to efficient interaction. The findings suggest the IVR interface is especially suitable for tasks requiring high operator involvement, such as remote manipulation in hazardous environments, training simulators, and educational robotics. Future work should optimize the interface for broader user tasks and capabilities.

Keywords: immersive interface, robotic arm, mental workload, virtual reality, usability.

References

1. Roshanianfard, A., Mengmeng, D., Nematzadeh, S. (2021). A 4-DOF SCARA Robotic Arm for Various Farm Applications: Designing, Kinematic Modelling, and Parameterization. *Acta Technologica Agriculturae*, 24 (2), 61–66. <https://doi.org/10.2478/ata-2021-0010>
2. Martín-Barrio, A., Roldán, J. J., Terrile, S., del Cerro, J., Barrientos, A. (2019). Application of immersive technologies and natural language to hyper-redundant robot teleoperation. *Virtual Reality*, 24 (3), 541–555. <https://doi.org/10.1007/s10055-019-00414-9>
3. J. Bailey, J. O., Bailenson, J. N. (2017). Immersive Virtual Reality and the Developing Child. *Cognitive Development in Digital Contexts*, 181–200. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809481-5.00009-2>
4. Bazzano, F., Gentilini, F., Lamberti, F., Sanna, A., Paravati, G., Gatteschi, V., Gaspardone, M. (2016). Immersive Virtual Reality-Based Simulation to Support the Design of Natural Human-Robot Interfaces for Service Robotic Applications. *Augmented Reality, Virtual Reality, and Computer Graphics*, 33–51. https://doi.org/10.1007/978-3-319-40621-3_3
5. Planthaber, S., Mallwitz, M., Kirchner, E. A. (2018). Immersive Robot Control in Virtual Reality to Command Robots in Space Missions. *Journal of Software Engineering and Applications*, 11 (07), 341–347. <https://doi.org/10.4236/jsea.2018.117021>
6. Eley, C. L., Palaniappan, V., Carter, A., Sogaolu, O., Horwood, J., Davies, M. et al. (2024). Randomized controlled trial of the CMR immersive virtual reality (IVR) headset training compared to e-learning for operating room configuration of the CMR versus robot. *Journal of Robotic Surgery*, 18 (1). <https://doi.org/10.1007/s11701-024-01885-y>
7. Sun, N., Botev, J. (2021). Intelligent autonomous agents and trust in virtual reality. *Computers in Human Behavior Reports*, 4, 100146. <https://doi.org/10.1016/j.chbr.2021.100146>
8. Román-Ibáñez, V., Pujol-López, F., Mora-Mora, H., Pertegal-Felices, M., Jimeno-Morenilla, A. (2018). A Low-Cost Immersive Virtual Reality System for Teaching Robotic Manipulators Programming. *Sustainability*, 10 (4), 1102. <https://doi.org/10.3390/su10041102>

9. Pérez, L., Diez, E., Usamentiaga, R., García, D. F. (2019). Industrial robot control and operator training using virtual reality interfaces. *Computers in Industry*, 109, 114–120. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.05.001>
10. Morra, L., Lamberti, F., Praticco, F. G., Rosa, S. L., Montuschi, P. (2019). Building Trust in Autonomous Vehicles: Role of Virtual Reality Driving Simulators in HMI Design. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 68 (10), 9438–9450. <https://doi.org/10.1109/tvt.2019.2933601>
11. Aguilar, W., Pari, L., Silva, Y., Espinoza, E. S., Ccari, L. F. C., Peña, R., Medina, N. O. (2024). Implementation of a Robotic Arm Control for EOD Applications Using an Immersive Multimodal Interface. *IEEE Access*, 12, 133632–133647. <https://doi.org/10.1109/access.2024.3432401>
12. Lee, H., Byun, W., Lee, H., Kang, Y., Choi, J. (2023). Integration and Evaluation of an Immersive Virtual Platform. *IEEE Access*, 11, 1335–1347. <https://doi.org/10.1109/access.2022.3232949>
13. Wonsick, M., Padir, T. (2020). A Systematic Review of Virtual Reality Interfaces for Controlling and Interacting with Robots. *Applied Sciences*, 10 (24), 9051. <https://doi.org/10.3390/app10249051>
14. Bele, O., Shtaiir, L., Stasiuk, R., Mirzojeva, A. (2023). Design of the human-machine interface for the cleaning-in-place system in the dairy industry. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (2 (123)), 44–51. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.282695>
15. Ibrahim, B. S. K. K., Zargoun, A. M. A. (2014). Modelling and Control of SCARA Manipulator. *Procedia Computer Science*, 42, 106–113. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.11.040>
16. Soyaslan, M., Uk, M. E., Ali Shah, F. B. S., Eldogan, O. (2018). Modeling, control, and simulation of a SCARA PRR-type robot manipulator. *Scientia Iranica*, 27 (1), 330–340. <https://doi.org/10.24200/sci.2018.51214.2065>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.337736

DEVELOPMENT OF AN ANTI-SURGE PROTECTION SYSTEM FOR GAS PUMPING UNITS BASED ON HARDWARE AND SOFTWARE VIBRATION MONITORING TOOLS (p. 117–132)

Leonid Zamikhovskiy

Ivano-Frankivsk National Technical University
of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6374-8580>

Olena Zamikhovska

Ivano-Frankivsk National Technical University
of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0775-0472>

Nataliia Ivanyuk

Ivano-Frankivsk National Technical University
of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1034-710X>

Oleksandra Mirzoieva

Ivano-Frankivsk National Technical University
of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7319-2264>

Mykola Nykolaychuk

Ivano-Frankivsk National Technical University
of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6185-2272>

This study's object is the non-stationary process of gas flow stall in the compressor of a gas pumping unit (GPU), accompanied by surge oscillations. The task relates to the need for a comprehensive approach to the design and operation of anti-surge protection systems

based on improved procedures, algorithms, and unified hardware and software solutions.

A procedure has been devised for predicting surge oscillations during the sequential operation of two compressor stations. Its distinctive feature is the processing of data on the dynamics of technological parameters of an actual facility under pre-surge and surge modes to construct a corrected extrapolation model. The method ensures an acceptable prediction error with a root mean square deviation of 10–15%.

An anti-surge protection system for GPU with forecasting functionality has been designed, based on offset and vibration displacement parameters of the compressor's rear bearing support in vertical and horizontal directions. Hardware and software solutions were implemented using a PLC S7-1200, SM 1281 vibration module, as well as CMS2000 VIB-SENSOR. The system enables monitoring of rear bearing support vibration displacement in the range from 0 to 80 μm , with an "optimal" operating point of 40 μm . The permissible monitoring distance to the control object is up to 30 m without loss of vibration signal quality.

A dispatcher interface has been designed with functions for visualization, archiving, alarm signaling about technological parameters, and calculating the predicted moment of GPU surge onset.

A subsystem for controlling the station's anti-surge valve has been designed, with status indication, based on the developed FB1 "Program" algorithm with the vibration state parameters at the facility.

Keywords: surge phenomenon, vibration monitoring, GPU automatic control system, extrapolation model, TIA Portal, anti-surge valve.

References

1. Alsuwian, T., Amin, A. A., Iqbal, M. S., Maqsood, M. T. (2023). A review of anti-surge control systems of compressors and advanced fault-tolerant control techniques for integration perspective. *Heliyon*, 9 (9), e19557. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19557>
2. Bentele, T., Cacitti, A., De Franciscis, S., Garulli, A. (2015). Model Predictive Control for pressure regulation and surge prevention in centrifugal compressors. 2015 European Control Conference (ECC), 3346–3351. <https://doi.org/10.1109/ecc.2015.7331051>
3. Mirsky, S., Jacobson, W., Tiscornia, D., McWhirter, J., Zaghloul, M. (2012). Development and design of antisurge and performance control systems for centrifugal compressors. *Proceedings of the Forty-Second Turbomachinery Symposium*. Available at: <https://core.ac.uk/download/pdf/147258448.pdf>
4. Daniarta, S., Wardana, A. N. I., Rosita, W. (2016). Performance evaluation of compressor anti-surge control based on model predictive in ammonia plant. 2016 International Seminar on Application for Technology of Information and Communication (ISemantic), 75–79. <https://doi.org/10.1109/isemantic.2016.7873813>
5. Chetate, B., Zamoum, R., Fegriche, A., Boumdin, M. (2013). PID and Novel Approach of PI Fuzzy Logic Controllers for Active Surge in Centrifugal Compressor. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 38 (6), 1405–1414. <https://doi.org/10.1007/s13369-013-0601-6>
6. Kolnsberg, A. (1979). Reasons for Centrifugal Compressor Surging and Surge Control. *Journal of Engineering for Power*, 101 (1), 79–86. <https://doi.org/10.1115/1.3446465>
7. Hou, Y., Wang, Y., Pan, Y., He, W., Huang, W., Wu, P., Wu, D. (2023). Vibration-based incipient surge detection and diagnosis of the centrifugal compressor using adaptive feature fusion and sparse ensemble learning approach. *Advanced Engineering Informatics*, 56, 101947. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2023.101947>
8. Dietel, F., Schulze, R., Richter, H., Jakel, J. (2012). Fault detection in rotating machinery using spectral modeling. 2012 9th France-Japan & 7th Europe-Asia Congress on Mechatronics (MECATRONICS)/13th Int'l Workshop on Research and Education in Mechatronics (REM), 353–357. <https://doi.org/10.1109/mecatronics.2012.6451032>

9. Niccolini Marmont Du Haut Champ, C. A., Silvestri, P., Ferrari, M. L., Massardo, A. F. (2020). Signal Processing Techniques to Detect Centrifugal Compressors Instabilities in Large Volume Power Plants. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 142 (12). <https://doi.org/10.1115/1.4048910>
10. Sandoval, O. R., Machado, L. H. J., Hanriot, V. M., Troysi, F., Faria, M. T. C. (2022). Acoustic and vibration analysis of a turbo-charger centrifugal compressor failure. *Engineering Failure Analysis*, 139, 106447. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106447>
11. Liśkiewicz, G., Kulak, M., Sobczak, K., Stickland, M. (2020). Numerical Model of a Deep Surge Cycle in Low-Speed Centrifugal Compressor. *Journal of Turbomachinery*, 142 (12). <https://doi.org/10.1115/1.4048328>
12. Hurinenko, V. M., Ivanyshyn, V. P. (2012). Pidvyshchennia efektyvnosti ekspluatatsiyi kompresornoj stantsiyi KS "Dolyna". *Naukovi visti: Halytska akademiya*, 2 (22), 29–36.
13. Hrudz, Ya. V. (2012). Prohnozuvannia tekhnichnoho stanu hazoperekachuvalnykh ahrehativ. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch*, 4 (45). Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/rngr_2012_4_19
14. Bliaut, Yu. Ye. (2013). Avtomatychna identyfikatsiya pompazhnykh kharakterystyk hazoperekachuvalnykh ahrehativ z hazoturbinnym pryvodom dlia efektyvnoho rehulivannia. *Ivano-Frankivsk: Ivano-Frankivskyi nats. tekhn. un-t nafty i hazu*, 20. Available at: <https://www.library.nung.edu.ua/katalog-avtoreferatiiv-disertatsii-zakhishchenikh-v-iifntung-z-fondu-ntb.html>
15. Zamikhovska, O. L., Zamikhovskiy, L. M., Ivaniuk, N. I. (2021). Rozrobka protsedury prohnozuvannia vynyknennia pompazhnykh yavyschch pry poslidovnyi roboti dvokh kompresornykh stantsiy. *X Naukova konferentsiia "NAUKOVI PIDSUMKY 2021 ROKU"*. Kharkiv, 21. Available at: https://entc.com.ua/download/%D0%97%D0%B1%D1%96%D1%80%D0%BA%D0%B0_%D0%BD%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%85_%D0%BF%D1%80%D0%B0%D1%86%D1%8C_%D0%9D%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%96_%D0%BF%D1%96%D0%B4%D1%81%D1%83%D0%BC%D0%BA%D0%B8_2021.pdf
16. SIMATIC STEP 7 Basic/Professional V17 and SIMATIC WinCC V17. Available at: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109798671/simatic-step-7-basic-professional-v17-and-simatic-wincc-v17?dti=0&lc=en-UA>
17. Zamikhovskiy, L., Nykolaychuk, M., Levytskyi, I. (2024). Organizing the automated system of dispatch control over pump units at water pumping stations. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (2 (131)), 61–75. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.313531>
18. Adasovskiy, B. I., Zamikhovskiy, L. M. (2014). *Diahnostuvannia system. Ivano-Frankivsk: IFNTUNH*, 116.
19. Zamikhovskiy, L. M., Zamikhovska, O. L., Ivaniuk, N. I., Pavlyk, V. V. (2020). Improvement of the automatic control system of gas-pumping units taking into account their technical condition. *Oil and Gas Power Engineering*, 2 (34), 84–95. [https://doi.org/10.31471/1993-9868-2020-2\(34\)-84-95](https://doi.org/10.31471/1993-9868-2020-2(34)-84-95)
20. PID Control with PID_Compact for SIMATIC S7-1200/S7-1500. Available at: https://support.industry.siemens.com/cs/document/100746401/pid-control-with-pid_compact-for-simatic-s7-1200-s7-1500?dti=0&lc=en-US
21. Condition Monitoring Systems. SIPLUS CMS1200. SM 1281 Condition Monitoring. Operating Instructions. Available at: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/490/109481490/att_885698/v1/cms1200_sm1281_operating_manual_en-US_en-US.pdf
22. Zamikhovskiy, L., Ivanuyk, N. (2017). Control system of operation of gas pumping unit taking into account its technical condition. *PEN Conference Systems, Innovative Ideas in Science*.

АНОТАЦІЇ

INFORMATION TECHNOLOGY. INDUSTRY CONTROL SYSTEMS

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.337405

ГЕНЕРУВАННЯ МАШИНОЗЧИТУВАНИХ ЗВІТІВ У РОЗРІЗІ КРАЇН ЗА ДОПОМОГОЮ ВЕЛИКИХ МОВНИХ МОДЕЛЕЙ (с. 6–13)**Я. О. Юсин**

Об'єктом даного дослідження є процес генерування машинозчитуваних звітів у розрізі країн у форматі XML за допомогою великих мовних моделей. Проблемаю, що вирішується у даному дослідженні, є поточна залежність процесу генерування цих звітів від спеціалізованого програмного забезпечення, що призводить до додаткових фінансових витрат.

Проведені дослідження та аналіз ефективності загальнодоступних великих мовних моделей для генерування звітів у розрізі країн з новими даними показали високі результати за умови надання моделі прикладу такого генерування. Три великі мовні моделі із дев'яти досліджених показали результати, наближені до ідеальних (що отримуються ручною підготовкою або спеціалізованими системами), а саме 96 балів із 100 за розробленою методикою оцінювання. Ще чотири досліджених моделі показали дещо нижчу ефективність, але її рівень також достатній для застосування на практиці. При цьому, отримана середня вартість генерування одного звіту (4,2 центи США) є значно меншою, ніж у випадку використання спеціалізованих систем. Стосовно ефективності великих мовних моделей загального призначення для генерування звітів у розрізі країн за відсутності прикладу генерування, то вона на сьогодні є недостатньою для використання на практиці. Всі із досліджених моделей у такому випадку показали результати, наближені до 0 балів, тобто були отримані повністю некоректні звіти. Такі результати пояснюються недостатньою кількістю навчальних даних під час тренування загальнодоступних моделей.

Таким чином, загальнодоступні великі мовні моделі можуть замінити на практиці спеціалізовані програмні системи, що призначені для генерування звітів у розрізі країн у форматі XML, зокнайменше у випадку генерування нових звітів.

Ключові слова: трансфертне ціноутворення, трансфертна документація, великі мовні моделі, генерування XML.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.332189

РОЗРОБКА МЕТОДУ УЗГОДЖЕННЯ ДАНИХ ПРИ РЕПЛІКАЦІЇ У МУЛЬТИХМАРНИХ СИСТЕМАХ (с. 14–22)**М. О. Волк, О. А. Козіна, А. М. Бугрій, С. В. Осієвський, М. Д. Козін, Д. М. Волк, Д. О. Дяченко, Ю. О. Турінський**

Об'єктом дослідження є узгодження даних реплікації у георозподілених мультихмарних системах. Вирішувалась проблема розробки методу інтервального впорядкування вхідних запитів шляхом формування послідовності номерів загального порядку, за якими виконується порядок запису даних у георозподілені репліки. Особливістю запропонованого методу є апіорне визначення рівно тривалих непересічних інтервалів коригування номерів вхідних пакетів, протягом яких номери вхідних пакетів впорядковуються. Групування користувачів в умовні кластери за географічним розміщенням навкруги брокерів дозволяє визначити пріоритети сортування вхідних пакетів. Брокери мають розташовуватися поблизу ведучої репліки кожного провайдеру хмарних послуг та приймати запити на запис від користувачів найближчого умовного кластеру. Додатково впорядкування вхідних пакетів відбувається за черговістю їх надходження до кожного брокера протягом визначених інтервалів коригування. Ці механізми дозволяють виконати синхронізацію операцій запису даних за один крок глобального зв'язку між георозподіленими репліками різних провайдерів хмарних послуг. Для оцінки затримок при формуванні загальної послідовності номерів вхідних пакетів розроблено імітаційну модель, особливістю якої є можливість відтворення різної кількості та географічного розміщення реплік. Експериментально показана стійкість затримки узгодження вхідних запитів на запис у мультихмарних системах при підвищенні інтенсивності вхідного потоку у навіть 70 разів. Отримані результати дозволяють не тільки знизити затримку запису даних у репліки вже існуючих мультихмарних систем, але й обрати найкраще географічне розташування ресурсів постачальників хмарних послуг під час проектування нових.

Ключові слова: мультихмарні системи, метод інтервальної узгодженості, реплікація георозподілених даних, модель затримки.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.337851

ВИЯВЛЕННЯ ГАЛУЗЕВО-СПЕЦИФІЧНИХ КІЛЬКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ РЕЗУЛЬТАТІВ ВПРОВАДЖЕННЯ СТРАТЕГІЙ ХМАРНОЇ МІГРАЦІЇ (с. 23–34)**В. В. Шутько, М. В. Євланов, І. О. Юр'єв**

Об'єктом дослідження є процес хмарної міграції інформаційних систем (ІС). У ході дослідження було вирішено проблему розробки кількісно обгрунтованої класифікації стратегій міграції, адже існуючі підходи базувалися на концептуальних моделях без емпіричної перевірки галузевих показників ефективності.

На відміну від існуючих класифікацій, запропонований підхід використовував емпіричні дані, отримані з 275 успішних кейсів міграції в хмару, з урахуванням таких показників, як зниження витрат, підвищення продуктивності, тривалість міграції та кількість використаних хмарних сервісів. Обробку пропущених значень було виконано методом множинної імпутації за ланцюговими рівняннями, аномальні спостереження видалено методом міжквартильного розмаху, що підвищило достовірність результатів. Було сформовано класифікацію з трьох стратегій – Lift-and-Shift, Re-platforming і Reengineering.

Кількісні результати показали, що Lift-and-Shift застосовувався в 39,64% випадків із середнім циклом 5,94 міс. та показником зниження витрат у 40,06%; Re-platforming – у 38,55% із 6,10 міс. і 38,12%; Reengineering – у 21,82% із 6,28 міс., економією 42% і приростом

продуктивності 141,66%. Подальший аналіз показав галузеву залежність вибору: Lift-and-Shift домінував у регульованих секторах, Re-platforming і Reengineering – у високотехнологічних.

Отримані результати можуть слугувати основою автоматизованих систем підтримки рішень при плануванні хмарної міграції ІС середніх і великих підприємств. Кількісні моделі давали змогу прогнозувати часові та фінансові показники з урахуванням масштабу, технологічного ландшафту й регуляторних вимог. Умовою застосування є збір метричних даних про продуктивність і витрати та інтеграція методів MICE і виявлення аномалій у передміграційному аудиті.

Ключові слова: імпуація, інформаційні системи, кількісний аналіз, класифікація, стратегічне планування, хмарна міграція.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.335501

РОЗРОБЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИЯВЛЕННЯ ДЖЕРЕЛ ТА МЕРЕЖ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ДЕЗІНФОРМАЦІЇ В КІБЕРПРОСТОРІ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ (с. 35–51)

В. А. Висоцька, М. А. Назаркевич

Об'єкт дослідження – процеси виявлення джерел та мереж розповсюдження дезінформації в кіберпросторі світу. Зі зростанням впливу соціальних мереж на громадську думку питання виявлення та нейтралізації пропагандистських повідомлень набуває особливої актуальності. Традиційні методи боротьби з пропагандою як ручна модерація контенту виявилися недостатньо ефективними через великий обсяг інформації, що генерується щодня. Важливим є застосування методів опрацювання природної мови та машинного навчання для аналізу тексту, виявлення джерел розповсюдження дезінформації та неавтентичної поведінки ботів. На основі аналізу існуючих методів інтелектуального пошуку дезінформації розроблено методи виявлення джерел та шляхів розповсюдження дезінформації в кіберпросторі через пошук подібних ланцюгів тексту та аналізу подібності стилю написання. Гібридне векторне подання дозволяє охопити поверхневі частотні характеристики тексту та семантичні особливості, що позитивно позначається на якості класифікації. Косинусова подібність, Жаккар, Левенштейн та Word2Vec використовують для вимірювання подібності. Кластеризація (DBSCAN, K-Means) допомагає групувати фейкові повідомлення. Графовий аналіз виявляє центральні акаунти та бот-мережі. Оцінювання продуктивності моделі за ключовими метриками показало надійні результати для виявлення джерел розповсюдження дезінформації: ассурасу – 0.82, F1.3 – 0.8, ROC-AUC – 0.86. Виявлені відмінності у лексичних паттернах для класів «фейк» і «правда» підтверджують здатність моделі вловлювати змістовні особливості текстів. Запропонований метод виявлення шляхів розповсюдження дезінформації слугує основою для побудови масштабованих систем моніторингу інформаційного простору та адаптації до інших задач текстової класифікації.

Ключові слова: виявлення джерел дезінформації, машинне навчання, мережа розповсюдження дезінформації, фейкова новина, подібність тексту.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.337036

ПРОЄКТУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПЕРСОНАЛІЗОВАНОГО РОЗВИТКУ ГРАФОМОТОРНИХ НАВИЧОК У ДІТЕЙ ДОШКІЛЬНОГО ВІКУ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ВІДХИЛЕНЬ ВІД ЕТАЛОНА (с. 52–69)

Aliya Aitymova, Anna Shaporeva, Oxana Kopnova, Anastasia Petrova, Anara Karymsakova, Gulmira Abildinova, Kainizhamal Iklassova, Zhanat Aitymov

Об'єктом дослідження є процес формування та розвитку графомоторних навичок у дітей дошкільного віку в умовах використання цифрових освітніх технологій. Графомоторні навички, що є підмножиною дрібної моторики, мають критичне значення для становлення письма та академічного успіху, особливо за умов раннього початку шкільного навчання. Проблема полягає у нестачі індивідуалізації, об'єктивної діагностики та адаптивної корекції в традиційних методиках. При навчанні за традиційними підходами аналіз почерку часто має суб'єктивний характер, а процес формування навичок є складним і вимагає інтеграції когнітивних, моторних і мотиваційних чинників.

Електронний застосунок «Спритні пальчики» використовує математичне моделювання, зокрема кусочно-лінійну апроксимацію з подальшим згладжуванням сплайнами Кетмулла-Рома, для автоматичного та об'єктивного аналізу траєкторій письма в реальному часі. Це дає змогу не лише кількісно та якісно оцінювати відхилення від еталонних зразків, але й формувати персоналізовані рекомендації та завдання. Електронний застосунок підтримує високий рівень мотивації та залученості дітей завдяки інтерактивним і ігровим елементам, а також забезпечує доступність спеціалізованої допомоги, особливо за умов обмежених ресурсів. Застосунок включає ефективну систему моніторингу та звітності, надаючи батькам і педагогам детальні дані про прогрес дитини.

Результати після впровадження застосунку демонструють виражену позитивну динаміку у дітей експериментальної групи. Частка дітей із високим рівнем графомоторних навичок зросла до 46%, тоді як кількість дітей із низьким рівнем зменшилася до 21%.

Ключові слова: персоналізоване навчання, графомоторні навички, цифрова діагностика, кусочно-лінійна функція, автоматизація навчання, електронний застосунок, графомоторика.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.338128

РЕАЛІЗАЦІЯ ЧАСТОТИ СЛОВА-ОБЕРНЕНОЇ ЧАСТОТИ ДОКУМЕНТА (TF-IDF) ТА WORD2VEC У СИСТЕМІ РЕКОМЕНДАЦІЙ ТРАДИЦІЙНОЇ МЕДИЦИНИ НА ОСНОВІ КОНТЕНТНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ (с. 70–80)

Rika Yunitarini, Dwi Aqilah Pradita, Ernaning Widiaswanti

Згідно з Всесвітньою організацією охорони здоров'я (ВООЗ), традиційна медицина є кульмінацією всіх знань, здібностей та практик, отриманих з теорій, вірувань та досвіду, унікальних для різних культур, і які використовуються для підтримки здоров'я,

а також для запобігання, діагностики, лікування або покращення фізичних та психічних захворювань. Нещодавно традиційну фітотерапію класифікували як таку, що складається з лікувальних методів, що існували, часто протягом сотень років, до створення сучасної медицини. Відсутність легкодоступної інформації щодо опису та ефективності традиційної медицини ускладнює для користувачів розуміння переваг кожного виду традиційної медицини. Через це потрібна система рекомендацій, яка має на меті полегшити користувачам пошук традиційної медицини, що відповідає їхнім уподобанням. Це дослідження пропонує систему рекомендацій щодо традиційної медицини з методом фільтрації на основі контенту, використовуючи комбінацію частоти використання термінів, оберненої частоти використання документів та вилучення ознак Word2Vec. Цей метод аналізує текст опису традиційної медицини та рекомендує на основі ваги слова та семантичні зв'язки між словами. Результати показують оптимальну продуктивність при розмірах 50–200 та розмірах вікна 9–15 для комбінації частоти слова-оберненої частоти документа та Word2Vec, тоді як частота слова-обернена частота документа сама по собі досягає 80% точності, а Word2Vec має нижчу продуктивність (4–14%) у широкому діапазоні експериментів з параметрами. Виходячи з вищезазначеного оптимального результату, цю систему рекомендацій можна застосовувати для отримання інформації про традиційну медицину, яка підходить людям, яким потрібно налаштувати найкращу модель розмірів та розміру вікна.

Ключові слова: фільтрація на основі контенту, розмірність, вилучення ознак, система рекомендацій, семантичний зв'язок, частота слова-обернена частота документа, традиційна медицина, розмір вікна, Word2Vec, вага слова.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.338124

ОБҐРУНТУВАННЯ АРХІТЕКТУРИ YOLO11 ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ФРАКЦІЙНОГО СКЛАДУ ЗЕРНОВИХ СУМІШЕЙ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ (с. 81–92)

С. П. Степаненко, А. Я. Кузьмич, А. М. Борис, В. І. Днесь, Serhii Kharchenko, І. Л. Роговський, Г. А. Голуб, М. Г. Березовий, А. В. Луцюк

Об'єктом дослідження є процес визначення фракційного складу зернових сумішей озимої пшениці за допомогою методів комп'ютерного зору та глибокого навчання. Основною проблемою, що вимагає вирішення, є висока трудомісткість, суб'єктивність та швидкість визначення фракційного складу зерна традиційними методами. Отримані результати демонструють успішне навчання та порівняльний аналіз кількох моделей сегментації екземплярів YOLO11-seg на спеціалізованому датасеті, розгорнутих на платформі NVIDIA Jetson Orin. Зокрема, модель YOLO11m-seg з розміром зображень 640 × 640 пікселів досягла оптимального компромісу між точністю та швидкістю, досягнувши показника Mask mAP50-95 0,558 при швидкості виведення 62,5 мс/зображення. Навчання моделі YOLO11n-seg 1280 × 1280 забезпечило найкращі показники середньої точності сегментації (Mask mAP50-95 0,640) за рахунок підвищення продуктивності визначення об'єктів «складних» класів, що є ключовими для точного визначення фракційного складу. Отримані результати дозволили вирішити досліджувану проблему завдяки емпірично обґрунтованому вибору архітектури. На відміну від гіпотетичних підходів, дослідження надає конкретні кількісні дані про продуктивність різних архітектур YOLO11-seg. Це дозволило обґрунтовано вибрати модель, яка найкраще відповідає вимогам точності та швидкості для практичного розгортання, вирішуючи проблему невизначеності у виборі архітектури. Отримані результати створюють основи для автоматизації контролю якості зерна, підвищуючи її ефективність, об'єктивність, а також суттєво зменшуючи трудомісткість за рахунок автоматизації рутинних операцій. Для практичного використання системи необхідне забезпечення стабільних умов освітлення, а також наявність цифрової камери, комп'ютера та відповідного програмного забезпечення.

Ключові слова: машинний зір, сегментація зображень, YOLO, зернові суміші, озима пшениця, фракційний склад.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.338000

РОЗРОБКА МЕТОДУ КЛАСИФІКАЦІЇ З НУЛЬОВИМ ПОКАЗНИКОМ ДЛЯ МІЖРЕГІОНАЛЬНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР, ЩО ДЕМОНСТРУЄ ПЕРЕНОСИМІСТЬ ДОМЕНІВ НА ЗОБРАЖЕННЯХ SENTINEL-2 (с. 93–101)

Artughrul Gayibov

Об'єктом дослідження є класифікація типів сільськогосподарських культур та землекористування з нульовим показником у регіонах з обмеженими даними, використовуючи одноденні знімки Sentinel-2, переносячи моделі, навчені в багатому на дані центральній Франції до Карабахського регіону Азербайджану. Міжрегіональне розгортання класифікаторів сільськогосподарських культур ускладнюється відмінностями у зміщенні доменів у фенології, управлінні та відгуках сенсорних діапазонів, а також відсутністю локальних позначок, що разом знижує точність та довіру до операційних карт. Безхмарні медіанні композити за липень 2021 року були створені в Google Earth Engine, зібрано чотирнадцятисмуговий стек (основні оптичні діапазони плюс NDVI, NDRE, NDWI, NDMI), чотири контрольовані алгоритми навчені на збалансованих французьких ділянках, перевірені за допомогою загальної точності та коефіцієнта Коена κ , а потім застосовані з нульовим показником до Карабаху. Random Forest забезпечив точність 94,6% при перевірці для Франції та, після перезважування екземплярів та нормалізації ознак, надав просторово узгоджені прогнози в Карабаху. Поєднання гармонізованих вхідних даних, спектрів з доповненням індексами та корекції полегшених доменів у конвеєрі дозволило перенесення без позначок цільових регіонів, створюючи карти з достовірною інформацією, придатні для швидкої підтримки рішень. Невідповідність стадій росту та спектральна чутливість є основними причинами відмінностей у продуктивності, інформація про червоний край була важливою для розрізнення структурно подібних культур, а індекси вологості допомогли з дискримінацією, індукованою зрошенням. Цей підхід є найефективнішим у пік сезону, за умов безхмарності з порівнянними агроекологічними умовами та гармонізованою таксономією культур, він вимагає лише відкритих даних Sentinel-2, маски сільськогосподарських угідь та стандартних інструментів машинного навчання в GEE, підтримуючи масштабовані, повторювані оцінки там, де достовірних даних мало.

Ключові слова: класифікація культур, переносимість доменів, дистанційне зондування, машинне навчання, класифікація з нульовим показником.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.338164

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ШВИДКОДІЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПАРОГЕНЕРАТОРА З ІДЕНТИФІКАЦІЄЮ НЕЛІНІЙНИХ МОДЕЛЕЙ (с. 102–109)

О. М. Нікуліна, В. П. Северин, Н. В. Коцюба, А. А. Пашнев, А. Ю. Усик

Об'єктом дослідження є процес управління рівнем води в парогенераторі атомної електричної станції. Розглянута проблема оптимізації швидкодії, системи автоматичного управління парогенератора. Запропонована інформаційна технологія оптимізації для системи управління рівнем води в парогенераторі, що ґрунтується на нелінійних математичних моделях і рівневих цільових функціях. Розглянута нелінійна математична модель системи управління, яка призначена для оптимізації показників якості системи. З використанням розроблених алгоритмів проведено обчислювальні експерименти з ідентифікації та оптимізації параметрів системи управління шляхом оптимізації рівневих цільових функцій. Ідентифіковані значення 41 параметра моделі системи управління рівнем води в парогенераторі ПГВ-1000. Досягнуто значення середньоквадратичного відхилення процесів в моделі від експериментальних процесів 0,43%, що на 54% менше, ніж при використанні лінійної моделі. В результаті оптимізації системи управління рівнем води при скиданні навантаження на 20% отримано мінімальний час регулювання 146 с. Зміна рівня води в парогенераторі не перевищила 24% від максимально допустимого значення. Особливість розробленої інформаційної технології оптимізації системи управління полягає в тому, що рівнева цільова функція включає всю інформацію про задачу оптимізації нелінійної системи автоматичного управління. Це спрощує алгоритми та програмне забезпечення для вирішення задач оптимізації складних систем управління. Розглянута технологія оптимізації нелінійних систем управління дозволить підвищити ступінь наукової обґрунтованості технічних проектів щодо вдосконалення різних застосовуваних та перспективних систем управління.

Ключові слова: інформаційна технологія оптимізації, управління парогенератором, нелінійна модель, ідентифікація параметрів.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.332483

ОЦІНКА ІМЕРСИВНОГО ІНТЕРФЕЙСУ УПРАВЛІННЯ ПОЛОЖЕННЯМ НА ОСНОВІ ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ДЛЯ РОБОТИЗОВАНОГО МАНІПУЛЯТОРА «СКАРА» (с. 110–116)

Victor Condori, Jaime Castillo, Alfredo Mamani, Lizardo Pari

Це дослідження вивчає використання роботизованих рук типу SCARA, керованих через інтерфейси занурювальної віртуальної реальності (IVR), що покращує взаємодію людини з роботом у дистанційному маніпулюванні. порушується проблема недостатнього розуміння того, як користувачі без спеціалізованих знань виконують завдання за допомогою таких систем, порівняно з традиційними методами керування. Хоча IVR пропонує занурену взаємодію, його ефективність для користувачів з обмеженим досвідом у телероботі досі не достатньо вивчена. Для вирішення цієї проблеми була розроблена система на основі IVR для виконання завдань типу «взяти-перемістити». Користувачі керують роботизованими руками в реальному часі, використовуючи жести рук і просторову взаємодію. У дослідженні дванадцять учасників виконували стандартизовані завдання за допомогою як IVR, так і традиційних інтерфейсів. Продуктивність оцінювалась за часом виконання, успішністю і досвідом користувача, з використанням методик NASA-TLX і SUS. Результати показують, що IVR зменшує загальне психічне навантаження приблизно на 45% і покращує сприйняття зручності використання на 15,9 балів зі 100 у порівнянні з традиційним інтерфейсом. Учасники виконували завдання швидше, з вищими результатами і меншим психічним і фізичним навантаженням. Ці поліпшення пояснюються зануреним характером середовища IVR, яке покращує просторову обізнаність і спрощує керування. Візуальний зворотний зв'язок у реальному часі сприяв ефективній взаємодії. Результати свідчать, що IVR підходить для завдань, що вимагають високої участі оператора, таких як дистанційне маніпулювання в небезпечних умовах, тренувальні симулятори та освітня робототехніка. Майбутні дослідження повинні оптимізувати інтерфейс для ширшого кола завдань і можливостей користувачів.

Ключові слова: занурений інтерфейс, роботизована рука, когнітивне навантаження, віртуальна реальність, зручність використання.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.337736

РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ АНТИПОМПАЖНОГО ЗАХИСТУ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ АГРЕГАТІВ НА БАЗІ АПАРАТНО-ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ВІБРАЦІЇ (с. 117–132)

Л. М. Заміховський, О. Л. Заміховська, Н. І. Іванюк, О. Ю. Мірзоева, М. Я. Николайчук

Об'єктом дослідження є нестационарний процес зриву потоку газу в нагнітачі газоперекачувального агрегату (ГПА), що супроводжується помпажними коливаннями. Проблематика полягає у комплексності підходу при створенні та експлуатації систем антипомпажного захисту на базі удосконалених процедур, алгоритмів та уніфікованих апаратно-програмних засобів.

Розроблено процедуру прогнозування помпажних коливань при послідовній роботі двох компресорних станцій. Особливістю є обробка інформації про динаміку технологічних параметрів на реальному об'єкті в передпомпажному і помпажному режимах для побудови екстраполяційної моделі з корекцією. Забезпечено допустиму похибку прогнозування з приведенням до середньоквадратичного відхилення 10–15%.

Розроблено систему антипомпажного захисту ГПА з функціональністю прогнозування на основі параметрів зсуву та вібропереміщення задньої опори нагнітача у вертикальному і горизонтальному напрямках. Розроблено апаратно-програмні засоби на основі

PLC S7-1200, модуля вібрації SM 1281 та CMS2000 VIB-SENSOR. Система забезпечує контроль вібропереміщення задньої опори нагнітача ГПА в діапазоні від 0 до 80 мкм, при робочій точці «оптимальна» – 40 мкм. Забезпечено допустиму відстань до об'єкту контролю до 30 м, без втрати якості вібросигналів.

Розроблено диспетчерський інтерфейс з функціями візуалізації, архівування, аварійної сигналізації технологічних параметрів та розрахунку прогнозованого значення до моменту часу виникнення помпажних коливань.

Розроблено підсистему керування станційним антипомпажним клапаном з індикацією стану закриття або відкриття на основі розробленого алгоритму FB1 «Program», що враховує параметри вібраційного стану об'єкту.

Ключові слова: явище помпажу, вібраційний контроль, САУ ГПА, екстраполяційна модель, TIA-Portal, антипомпажний клапан.