

ABSTRACT AND REFERENCES

INFORMATION TECHNOLOGY. INDUSTRY CONTROL SYSTEMS

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.329139

SYNTHESIS OF RECURSIVE-TYPE NEURAL ELEMENTS WITH PARALLEL VERTICAL-GROUP DATA PROCESSING (p. 6–16)

Ivan Tsmots

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4033-8618>**Vasyl Teslyuk**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5974-9310>**Yurii Opotyak**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9889-4177>**Taras Mamchur**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0593-7937>**Oleksandr Oliinyk**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5093-7334>

The object of this study is the processes of parallel vertical-group data processing and minimization of equipment costs, which enable the synthesis of real-time recursive neural elements with high efficiency of equipment use. A model of a recursive-type neural element has been built, which, through the use of a parallel vertical-group method for calculating the scalar product and the ability to choose the number of bits in the group for the formation of partial products, coordinates the time of receipt of weights and input data with the time of calculating the result at the output of the neural element. This approach provides a hardware implementation of the neural element with minimal use of equipment.

The basic structure of the neural element has been designed, which, through the use of hardware mapping of the constructed graph model, regularity, and modularity of the structure, provides the synthesis of hardware for a specific application. The application of pipelines and spatial parallelism of data processing, as well as the organization of the process of calculating the scalar product, as the performance of a single operation, enables the implementation of a neural element for real-time operation.

Analytical expressions have been built to estimate the parameters of a neural element depending on the bit depth of operands, the number of data inputs, and the number of bits in the group. A method for synthesizing a recursive-type neural element has been devised, which, due to the use of the basic structure, enables mechanisms for matching the time of receipt of weight coefficients and input data with the time of calculating the output, thus ensuring its implementation for specific applications. Considering ways to minimize equipment costs ensures the construction of a neural element with minimal hardware costs.

The synthesized neural element for a data depth of 16 bits with an increase in the number of bits that are simultaneously processed in a group, from 2 to 8, provides a decrease in the processing time by 2.8 times with a reduction in the efficiency of using the equipment of the neural element by no more than 1.6 times.

Keywords: model of a neural element, real-time calculations, hardware implementation of a neural element.

References

1. Leigh, A. J., Heidarpur, M., Mirhassani, M. (2022). A Low-Resource Digital Implementation of the Fitzhugh-Nagumo Neuron. 2022 17th Conference on Ph.D Research in Microelectronics and Electronics (PRIME), 369–372. <https://doi.org/10.1109/prime55000.2022.9816797>
2. Renteria-Cedano, J., Rivera, J., Sandoval-Ibarra, F., Ortega-Cisneros, S., Loo-Yau, R. (2019). SoC Design Based on a FPGA for a Configurable Neural Network Trained by Means of an EKF. Electronics, 8 (7), 761. <https://doi.org/10.3390/electronics8070761>
3. Tsmots, I. G., Opotyak, Yu. V., Shtohrinets, B. V., Mamchur, T. B., Oliinyk, O. O. (2024). Operational basis of artificial neural networks and evaluation of hardware characteristics for its implementation. Ukrainian Journal of Information Technology, 6 (2), 125–138. <https://doi.org/10.23939/ujit2024.02.125>
4. Kundu, S., Banerjee, S., Raha, A., Basu, K. (2022). Special Session: Effective In-field Testing of Deep Neural Network Hardware Accelerators. 2022 IEEE 40th VLSI Test Symposium (VTS), 1–4. <https://doi.org/10.1109/vts52500.2021.9794227>
5. Wu, J., Zhao, B., Wen, H., Zhao, Q. (2022). Design of Neural Network Accelerator Based on In-Memory Computing Theory. 2022 4th International Conference on Natural Language Processing (ICNLP), 547–551. <https://doi.org/10.1109/icnlp55136.2022.00100>
6. Sarg, M., Khalil, A. H., Mostafa, H. (2021). Efficient HLS Implementation for Convolutional Neural Networks Accelerator on an SoC. 2021 International Conference on Microelectronics (ICM), 1–4. <https://doi.org/10.1109/icm52667.2021.9664920>
7. Nouacer, R., Hussein, M., Espinoza, H., Ouhammou, Y., Ladeira, M., Castiñeira, R. (2020). Towards a framework of key technologies for drones. Microprocessors and Microsystems, 77, 103142. <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2020.103142>
8. Saini, S., Lata, K., Sinha, G. R. (2021). VLSI and Hardware Implementations Using Modern Machine Learning Methods. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003201038>
9. Davies, M., Srinivasa, N., Lin, T.-H., Chinya, G., Cao, Y., Choday, S. H. et al. (2018). Loihi: A Neuromorphic Manycore Processor with On-Chip Learning. IEEE Micro, 38 (1), 82–99. <https://doi.org/10.1109/mm.2018.112130359>
10. Hager, G., Wellein, G. (2010). Introduction to High Performance Computing for Scientists and Engineers. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/ebk1439811924>
11. Tsmots, I., Teslyuk, V., Kryvinska, N., Skorokhoda, O., Kazymyra, I. (2022). Development of a generalized model for parallel-streaming neural element and structures for scalar product calculation devices. The Journal of Supercomputing, 79 (5), 4820–4846. <https://doi.org/10.1007/s11227-022-04838-0>
12. Liu, W., Wang, Z., Liu, X., Zeng, N., Liu, Y., Alsaadi, F. E. (2017). A survey of deep neural network architectures and their applications. Neurocomputing, 234, 11–26. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2016.12.038>
13. Tsmots, I. G., Opotyak, Y. V., Shtohrinets, B. V., Mamchur, T. B., Holubets, V. M. (2024). Model, structure and synthesis method of matrix-

- type neural element. Scientific Bulletin of UNFU, 34 (4), 68–77. <https://doi.org/10.36930/40340409>
14. Tsmots, I., Skorokhoda, O., Ignatyev, I., Rabyk, V. (2017). Basic vertical-parallel real time neural network components. 2017 12th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), 344–347. <https://doi.org/10.1109/stc-csit.2017.8098801>
 15. Leigh, A. J., Mirhassani, M., Muscedere, R. (2020). An Efficient Spiking Neuron Hardware System Based on the Hardware-Oriented Modified Izhikevich Neuron (HOMIN) Model. IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, 67 (12), 3377–3381. <https://doi.org/10.1109/tcsii.2020.2984932>
 16. Pi, X., Lin, X. (2022). An FPGA-based Piecewise Linear Spiking Neuron for Simulating Bursting Behavior. 2022 IEEE 12th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC), 0415–0420. <https://doi.org/10.1109/ccwc54503.2022.9720886>
 17. Wang, G., Fu, D. (2024). Spike Neural Network with Delayed Propagation Characteristics and Hardware Implementation. 2024 6th International Conference on Electronic Engineering and Informatics (EEI), 1181–1185. <https://doi.org/10.1109/eei63073.2024.10696338>
 18. Ramirez-Morales, R. R., Ponce-Ponce, V. H., Molina-Lozano, H., Sossa-Azuela, H., Islas-García, O., Rubio-Espino, E. (2024). Analog Implementation of a Spiking Neuron with Memristive Synapses for Deep Learning Processing. Mathematics, 12 (13), 2025. <https://doi.org/10.3390/math12132025>
 19. Xu, Q., Ding, S., Bao, H., Chen, M., Bao, B. (2022). Piecewise-Linear Simplification for Adaptive Synaptic Neuron Model. IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, 69 (3), 1832–1836. <https://doi.org/10.1109/tcsii.2021.3124666>
 20. Bao, B., Zhu, Y., Li, C., Bao, H., Xu, Q. (2020). Global multistability and analog circuit implementation of an adapting synapse-based neuron model. Nonlinear Dynamics, 101 (2), 1105–1118. <https://doi.org/10.1007/s11071-020-05831-z>
 21. Tsmots, I. H., Shtohrinets, B. V., Kazymyra, I. Y., Lytvyn, A. A. (2023). Model and method for synthesis of neural element of parallel-streaming type. Scientific Bulletin of UNFU, 33 (2), 92–100. <https://doi.org/10.36930/40330213>
 22. Tsmots, I. H., Skorokhoda, O. V., Medykovskiy, M. O. (2017). Pat. No. 118596 UA. Prystryi dlia obchyslennia skaliarnoho dobutku. No. a201700835; declared: 30.01.2017; declared: 11.02.2019.
 23. Tsmots, I. H., Tesliuk, V. M., Lukashchuk, Yu. A., Kazymyra, I. Ya. (2021). Pat. No. 127774 UA. Prystryi dlia obchyslennia skaliarnoho dobutku. No. a202104653; declared: 12.08.2021; declared: 28.12.2023.
 24. Shymkovych, V., Doroshenko, A., Mamedov, T., Yatsenko, O. (2022). Automated design of an artificial neuron for field-programmable gate arrays based on an Algebra-Algorithmic approach. International Scientific Technical Journal «Problems of Control and Informatics», 67 (5), 61–72. <https://doi.org/10.34229/2786-6505-2022-5-6>
 25. Tsmots, I., Optyak, Y., Shtohrinets, B. (2023). Method of Synthesis of Devices for Parallel Stream Calculation of Scalar Product in Real Time. Visnik Nacional'nogo Universitetu "L'vivs'ka Politehnika". Seriâ Informacijni Sistemi Ta Merež, 14, 248–266. <https://doi.org/10.23939/sisn2023.14.248>
 26. Lin, X., Lu, H., Pi, X., Wang, X. (2020). An FPGA-based Implementation Method for Quadratic Spiking Neuron Model. 2020 11th IEEE Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON), 0621–0627. <https://doi.org/10.1109/uemcon51285.2020.9298029>
 27. Zi, H., Zhao, K., Zhang, W. (2024). Designing and Accelerating Spiking Neural Network Based on High-Level Synthesis. 2024 Conference of Science and Technology for Integrated Circuits (CSTIC), 1–3. <https://doi.org/10.1109/cstic61820.2024.10531920>
 28. Hassantabar, S., Wang, Z., Jha, N. K. (2022). SCANN: Synthesis of Compact and Accurate Neural Networks. IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, 41 (9), 3012–3025. <https://doi.org/10.1109/tcad.2021.3116470>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.333720

THE DEVELOPMENT OF AN EVALUATION MODEL FOR USER AUTHENTICATION METHODS WITH SECURITY, USABILITY, AND USAGE FREQUENCY (p. 17–29)

Olga Ussatova

Institute of Information and Computational Technologies,
Almaty, Republic of KazakhstanORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5276-6118>

Shakirt Makilenov

Al-Farabi Kazakh National University,
Almaty, Republic of KazakhstanORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5330-4716>

Vladislav Karyukin

Al-Farabi Kazakh National University,
Almaty, Republic of KazakhstanORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8768-0349>

Abdul Razaque

International IT University,
Almaty, Republic of KazakhstanORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0409-3526>

Saula Amanzholova

Astana IT university, EXPO Business Center, Block C1,
Astana, Republic of KazakhstanORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6779-9393>

Yenlik Begimbayeva

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications
(AUPET), Almaty, Republic of KazakhstanORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4907-3345>

The object of the study is authentication systems in security-critical environments, especially in healthcare. The addressed problem is the absence of comprehensive frameworks that integrate both threat data and user-centric factors for real-world method comparison.

This study develops and validates a novel evaluation model for assessing the empirical effectiveness of user authentication methods. The proposed model integrates probabilistic threat modeling, usability data, and weighted multi-criteria analysis to generate context-sensitive effectiveness scores, thereby supporting informed decision-making.

Twelve authentication methods were assessed using three criteria: security (resistance to cyber threats), usability (user convenience), and use frequency (real-world adoption). Security coefficients (K_2) were computed from threat statistics, while usability and adoption metrics were based on a healthcare survey ($n = 70$). Weighted normalization ($w_s = 0.4$, $w_u = 0.3$, $w_f = 0.3$) produced overall effectiveness scores (E). The most effective methods were mobile devices ($E = 30.915$), PIN codes ($E = 30.252$), and fingerprint authentication ($E = 29.235$), offering an optimal balance of

security and acceptance. Graphical passwords ($E = 6.132$) and iris scans ($E = 7.245$) scored lowest due to poor usability and limited adoption.

The model's feature lies in its holistic integration of threat exposure and empirical user data, along with adaptability to organizational requirements and visual interpretability. This feature distinguishes it from single-dimensional or static assessment models.

Keywords: authentication, cybersecurity, usability, effectiveness, evaluation, threats, biometrics, tokens, risks, security.

References

- Razaque, A., Amsaad, F., Jaro Khan, M., Hariri, S., Chen, S., Siting, C., Ji, X. (2019). Survey: Cybersecurity Vulnerabilities, Attacks and Solutions in the Medical Domain. *IEEE Access*, 7, 168774–168797. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2950849>
- Chaymae, M., Youssef, G., Said, E. M. (2025). Systematic review for attack tactics, privacy, and safety models in big data systems. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 37 (2), 1234. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v37.i2.pp1234-1250>
- Al Sharaa, B., Thuneibat, S. (2024). Ethical hacking: real evaluation model of brute force attacks in password cracking. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 33 (3), 1653. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v33.i3.pp1653-1659>
- Alrawili, R., AlQahtani, A. A. S., Khan, M. K. (2024). Comprehensive survey: Biometric user authentication application, evaluation, and discussion. *Computers and Electrical Engineering*, 119, 109485. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2024.109485>
- Cariello, N., Levine, S., Zhou, G., Hoplight, B., Gasti, P., Balagani, K. S. (2024). SMARTCOPE: Smartphone Change Of Possession Evaluation for continuous authentication. *Pervasive and Mobile Computing*, 97, 101873. <https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2023.101873>
- Chen, J., Hengartner, U., Khan, H. (2024). SHRIMPS: A framework for evaluating multi-user, multi-modal implicit authentication systems. *Computers & Security*, 137, 103594. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2023.103594>
- Ryu, R., Yeom, S., Herbert, D., Dermoudy, J. (2023). The design and evaluation of adaptive biometric authentication systems: Current status, challenges and future direction. *ICT Express*, 9 (6), 1183–1197. <https://doi.org/10.1016/j.icte.2023.04.003>
- Ussatova, O., Makilenov, S., Mukaddas, A., Amanzholova, S., Begimbayeva, Y., Ussatov, N. (2023). Enhancing healthcare data security: a two-step authentication scheme with cloud technology and blockchain. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (2 (126)), 6–16. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.289325>
- Faruk, M. J. H., Basney, J., Cheng, J. Q. (2023). Blockchain-Based Decentralized Verifiable Credentials: Leveraging Smart Contracts for Privacy-Preserving Authentication Mechanisms to Enhance Data Security in Scientific Data Access. 2023 IEEE International Conference on Big Data (BigData), 5493–5502. <https://doi.org/10.1109/bigdata59044.2023.10386360>
- Yang, H., Guo, Y., Guo, Y. (2024). Fault-tolerant security-efficiency combined authentication scheme for manned-unmanned teaming. *Computers & Security*, 146, 104052. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2024.104052>
- Evseev, S. P., Tomashevskyy, B. P. (2015). Two-Factor Authentication Methods Threats Analysis. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 1. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2015-1-7>
- Rittenhouse, R., Chaudhry, J. (2016). A Survey of Alternative Authentication Methods. *Proceedings of the 2015 International Conference on Recent Advances in Computer Systems*. <https://doi.org/10.2991/racs-15.2016.31>
- De Cristofaro, E., Du, H., Freudiger, J., Norcie, G. (2014). A Comparative Usability Study of Two-Factor Authentication. *Proceedings 2014 Workshop on Usable Security*. <https://doi.org/10.14722/usec.2014.23025>
- Wang, H., Tan, G. Z., Liu, L. D. (2011). Authentication Protocol Security Assessment Framework Based on Attack Classification. *Applied Mechanics and Materials*, 143–144, 859–863. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.143-144.859>
- Current Cyber Threats for Organizations: Results of 2023. Positive Technologies. Available at: <https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/aktualnye-kiberugrozy-dlya-organizacij-itogi-2023-goda/>
- Wang, X., Yan, Z., Zhang, R., Zhang, P. (2021). Attacks and defenses in user authentication systems: A survey. *Journal of Network and Computer Applications*, 188, 103080. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2021.103080>
- Jiang, M., Liu, S., Han, S., Gu, D. (2024). Biometric-based two-factor authentication scheme under database leakage. *Theoretical Computer Science*, 1000, 114552. <https://doi.org/10.1016/j.tcs.2024.114552>
- Alaswad, A. O., Montaser, A. H., Mohamad, F. E. (2014). Vulnerabilities of Biometric Authentication “Threats and Countermeasures”. *International Journal of Information & Computation Technology*, 4 (10), 947–958. Available at: https://www.ripublication.com/irph/ijict_spl/ijictv4n10spl_01.pdf
- Mihajlov, M., Jerman-Blazic, B., Josimovski, S. (2011). A conceptual framework for evaluating usable security in authentication mechanisms - usability perspectives. 2011 5th International Conference on Network and System Security, 332–336. <https://doi.org/10.1109/icnss.2011.6060025>
- Mihajlov, M., Blazic, B. J., Josimovski, S. (2011). Quantifying Usability and Security in Authentication. 2011 IEEE 35th Annual Computer Software and Applications Conference, 626–629. <https://doi.org/10.1109/compsac.2011.87>
- Robles-González, A., Parra-Arnau, J., Forné, J. (2020). A LINDDUN-Based framework for privacy threat analysis on identification and authentication processes. *Computers & Security*, 94, 101755. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2020.101755>
- Wang, C., Wang, Y., Chen, Y., Liu, H., Liu, J. (2020). User authentication on mobile devices: Approaches, threats and trends. *Computer Networks*, 170, 107118. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107118>
- Karim, N. A., Khashan, O. A., Kanaker, H., Abdulaheem, W. K., Alshinwan, M., Al-Banna, A.-K. (2024). Online Banking User Authentication Methods: A Systematic Literature Review. *IEEE Access*, 12, 741–757. <https://doi.org/10.1109/access.2023.3346045>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.326956

DEVELOPMENT OF A HYBRID SIAMESE
AND FEEDFORWARD NEURAL NETWORKS
ARCHITECTURE FOR SEMANTIC TEXT SIMILARITY
MEASUREMENT (p. 30–41)

Ng Poi Wong

Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia

Universitas Mikroskil, Medan, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7353-2169>

Tengku Henny Febriana Harumy
Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1504-5570>

Syahril Efendi
Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3944-5459>

The object of this study is the semantic similarity between two texts. This research focuses on developing a hybrid architecture that combines Siamese Neural Network (SNN) with Feedforward Neural Network (FNN) to measure the semantic text similarity, with text representation using Sentence-BERT (SBERT). The problem addressed is the challenge of capturing deep semantic relationships between two texts, which traditional methods, such as Term Frequency-Inverse Document Frequency (TF-IDF) or Word2Vec, find difficult to achieve. This research aims to overcome these weaknesses by combining the two architectures into a more powerful hybrid system. The test results show the highest accuracy of 87.82 % on the Semantic Textual Similarity (STS) dataset using the SBERT “all-MiniLM-L6-v2” model, 76.72 % on the Quora Question Pairs (QQP) dataset using the “multi-qa-MiniLM-L6-cos-v1” model, and 73.79 % on the Microsoft Research Paraphrase Corpus (MSRP) dataset using the “paraphrase-MiniLM-L12-v2” model. The optimal parameters for the number of epochs ranged from 300 to 700, and the optimal learning rate ranged from 0.01 to 0.5. SBERT models, such as “paraphrase-MiniLM-L6-v2” and “paraphrase-MiniLM-L12-v2”, gave the best results on the relevant datasets. The flexibility of the “multi-qa-MiniLM-L6-cos-v1” model also shows that the model designed for question and answer tasks can be used in the paraphrase detection domain. A unique feature of the model is the integration of SBERT as a text representation, which results in a richer semantic vector than traditional methods. The model has potential for wide application in various domains, such as plagiarism detection, legal documents, and question-and-answer systems. However, implementation requires attention to parameter selection, such as learning rate and number of epochs, to avoid overfitting or underfitting.

Keywords: feedforward neural network, semantic text similarity, Sentence-BERT, Siamese neural network.

References

- Jinarat, S., Pruengkarn, R. (2024). Enhancing Short Text Semantic Similarity Measurement Using Pretrained Word Embeddings and Big Data. 2024 5th International Conference on Big Data Analytics and Practices (IBDAP), 63–66. <https://doi.org/10.1109/ibdap62940.2024.10689695>
- Abdalgader, K., Matroudi, A. A., Hossin, K. (2024). Experimental study on short-text clustering using transformer-based semantic similarity measure. *PeerJ Computer Science*, 10, e2078. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.2078>
- Alnajem, N. A., Binkhonain, M., Shamim Hossain, M. (2024). Siamese Neural Networks Method for Semantic Requirements Similarity Detection. *IEEE Access*, 12, 140932–140947. <https://doi.org/10.1109/access.2024.3469636>
- Fan, A., Wang, S., Wang, Y. (2024). Legal Document Similarity Matching Based on Ensemble Learning. *IEEE Access*, 12, 33910–33922. <https://doi.org/10.1109/access.2024.3371262>
- Bao, W., Dong, J., Xu, Y., Yang, Y., Qi, X. (2024). Exploring Attentive Siamese LSTM for Low-Resource Text Plagiarism Detection. *Data Intelligence*, 6 (2), 488–503. https://doi.org/10.1162/dint_a_00242
- Goltaji, M., Abbaspour, J., Jowkar, A., Fakhrahmad, S. M. (2023). Comparison of text-based and linked-based metrics in terms of estimating the similarity of articles. *Journal of Librarianship and Information Science*, 56 (3), 760–772. <https://doi.org/10.1177/09610006231165759>
- Korade, N. B., Salunke, M. B., Bhosle, A. A., Kumbharkar, P. B., Asalkar, G. G., Khedkar, R. G. (2024). Strengthening Sentence Similarity Identification Through OpenAI Embeddings and Deep Learning. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 15 (4). <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2024.0150485>
- Reimers, N., Gurevych, I. (2019). Sentence-BERT: Sentence Embeddings using Siamese BERT-Networks. *Proceedings of the 2019 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and the 9th International Joint Conference on Natural Language Processing (EMNLP-IJCNLP)*. <https://doi.org/10.18653/v1/d19-1410>
- Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., Toutanova, K. (2019). BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1810.04805>
- Altamimi, A., Umer, M., Hanif, D., Alsubai, S., Kim, T.-H., Ashraf, I. (2024). Employing Siamese MaLSTM Model and ELMO Word Embedding for Quora Duplicate Questions Detection. *IEEE Access*, 12, 29072–29082. <https://doi.org/10.1109/access.2024.3367978>
- Li, R., Cheng, L., Wang, D., Tan, J. (2023). Siamese BERT Architecture Model with attention mechanism for Textual Semantic Similarity. *Multimedia Tools and Applications*, 82 (30), 46673–46694. <https://doi.org/10.1007/s11042-023-15509-4>
- Chicco, D. (2020). Siamese Neural Networks: An Overview. *Artificial Neural Networks*, 73–94. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-0826-5_3
- Wong, K., Dornberger, R., Hanne, T. (2022). An analysis of weight initialization methods in connection with different activation functions for feedforward neural networks. *Evolutionary Intelligence*, 17 (3), 2081–2089. <https://doi.org/10.1007/s12065-022-00795-y>
- Harumy, T. H. F., Zarlis, M., Lydia, M. S., Efendi, S. (2023). A novel approach to the development of neural network architecture based on metaheuristic protis approach. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (4 (124)), 46–59. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.281986>
- Han, S., Shi, L., Tsui, F. (Rich). (2025). Enhancing semantical text understanding with fine-tuned large language models: A case study on Quora Question Pair duplicate identification. *PLOS ONE*, 20 (1), e0317042. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0317042>
- Faseeh, M., Khan, M. A., Iqbal, N., Qayyum, F., Mehmood, A., Kim, J. (2024). Enhancing User Experience on Q&A Platforms: Measuring Text Similarity Based on Hybrid CNN-LSTM Model for Efficient Duplicate Question Detection. *IEEE Access*, 12, 34512–34526. <https://doi.org/10.1109/access.2024.3358422>
- Abdalla, H. I., Amer, A. A. (2021). Boolean logic algebra driven similarity measure for text based applications. *PeerJ Computer Science*, 7, e641. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.641>
- Xue, Y., Tong, Y., Neri, F. (2022). An ensemble of differential evolution and Adam for training feed-forward neural networks. *Information Sciences*, 608, 453–471. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2022.06.036>
- Hemeida, A. M., Hassan, S. A., Mohamed, A.-A. A., Alkhalaf, S., Mahmoud, M. M., Senjyu, T., El-Din, A. B. (2020). Nature-inspired algorithms for feed-forward neural network classifiers: A survey of one decade of research. *Ain Shams Engineering Journal*, 11 (3), 659–675. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.01.007>
- Harumy, T. H. F., Zarlis, M., Effendi, S., Lidya, M. S. (2021). Prediction Using A Neural Network Algorithm Approach (A Review). 2021

International Conference on Software Engineering & Computer Systems and 4th International Conference on Computational Science and Information Management (ICSECS-ICOCSIM), 325–330. <https://doi.org/10.1109/icsecs52883.2021.00066>

21. Saini, J. R., Vaidya, S. (2024). A Novel Page Similarity Classification Algorithm for Healthcare Web URL Classification. Proceedings of Third International Conference on Computing and Communication Networks, 291–301. https://doi.org/10.1007/978-981-97-2671-4_22
22. Diamzon, J., Venturi, D. (2025). Uncertainty Propagation in Feed-Forward Neural Network Models. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5201857>
23. Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A. (2016). Deep Learning. MIT Press. Available at: <https://www.deeplearningbook.org/>
24. Shen, Y., Lin, Z. (2024). PatentGrapher: A PLM-GNNs Hybrid Model for Comprehensive Patent Plagiarism Detection Across Full Claim Texts. IEEE Access, 12, 182717–182725. <https://doi.org/10.1109/access.2024.3508762>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.331745

DEVELOPMENT OF MACHINE LEARNING FOR FORECASTING OPTIMIZATION IMPLEMENTED IN MORPHOLOGY PLANT GROWTH (p. 42–53)

Ertina Sabarita Barus

Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia
Universitas Prima Indonesia, Sei Putih Bar., Kec. Medan Petisah,
Kota Medan, Sumatera Utara, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4057-043X>

Muhammad Zarlis

BINUS University, Kemanggisian, Palmerah Jakarta, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0520-7273>

Zulkifli Nasution

North Sumatra University, Padang Bulan Kec. Medan Baru, Medan,
Sumatera Utara, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2541-6454>

Sutarman

North Sumatra University, Padang Bulan, Kota Medan,
Sumatera Utara, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3619-1303>

The object of the study is the forecasting and optimizing the plant growth rather. The data distribution at each iteration in the continuous optimization process tends to produce premature convergence because the optimum points are found at the beginning of the iteration, so that the actual optimum condition cannot be achieved. For this reason, a method is needed to see the optimum points at each iteration in the continuous optimization process. A multi-linear regression approach is used to predict the variables generated at each iteration, and then optimized using a neural network method approach for each optimum point found. This research is implemented and observed on the growth morphology of chili plants with a total sample of 100 stems, for 100 days of growth. The testing process consists of 5 different experimental scenarios based on the activation function, and the iteration process is carried out at 250, 500, and 1000 epochs. Furthermore, with a percentage of 70% training data and 30% testing data, the results obtained using the ReLU activation function have an ideal value compared to the Tanh, Softplus, Elu, and Sigmoid activation functions. Compared to the time series method with an MSE value of 4.62, this value is much better than the value of 8.6 for the time series. The RMSE and MAPE

values of 16.36 and 36.53 are also excellent. Comparison of the level of forecasting accuracy of the results of continuous optimization carried out with the activation function ReLU and tanh compared to the time series method, the value with the activation function ReLU and tanh has a percentage value 46.36% and 46.86% and this value is a good value compared to using the time series method, which is exactly 67.39%.

Keywords: forecasting optimization, plant morphology, machine learning, multilinear regression neural network.

References

1. Stein, O. (2024). Basic Concepts of Global Optimization. In Mathematics Study Resources. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-66240-3>
2. Zhigljavsky, A., Žilinskas, A. (2021). Bayesian and High-Dimensional Global Optimization. In SpringerBriefs in Optimization. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-64712-4>
3. Marakumbi Prakash, R. (2020). Distributed Load Balancing algorithms for Cloud Computing-A Survey. International Journal of Progressive Research in Science and Engineering, 1 (6). Available at: https://www.ijprse.com/2020/Vol1_Iss6_September20/IJPRSE_V1I6_15.pdf
4. Feng, L., Gupta, A., Tan, K. C., Ong, Y. S. (2023). Evolutionary Multi-Task Optimization. In Machine Learning: Foundations, Methodologies, and Applications. Springer Nature Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-19-5650-8>
5. Cerf, M. (2023). 1.4 Global optimum. Optimization Techniques I, 37–48. <https://doi.org/10.1051/978-2-7598-3162-3.c007>
6. Sariyildiz, İ., Köse Ulukök, M. (2023). Sayısal Global Optimum için Çift-Girişim Tabanlı İyileştirme Algoritmasının Yakınsama Analizi. Computer Science. <https://doi.org/10.53070/bbd.1346673>
7. Zhang, Y., Zhu, Y., Li, H., Wang, J. (2024). A hybrid optimization algorithm for multi-agent dynamic planning with guaranteed convergence in probability. Neurocomputing, 592, 127764. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2024.127764>
8. Huang, C., Wu, D., Zhou, X., Song, Y., Chen, H., Deng, W. (2024). Competitive swarm optimizer with dynamic multi-competitions and convergence accelerator for large-scale optimization problems. Applied Soft Computing, 167, 112252. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2024.112252>
9. Hu, R., Wen, S., Zeng, Z., Huang, T. (2017). A short-term power load forecasting model based on the generalized regression neural network with decreasing step fruit fly optimization algorithm. Neurocomputing, 221, 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2016.09.027>
10. Summary of Volume 2: Paradigms of Combinatorial Optimization (2014). Applications of Combinatorial Optimization, 415–425. <https://doi.org/10.1002/9781119005384.oth3>
11. Kadlec, M., Buhnova, B., Tomsik, J., Herman, J., Druzvikova, K. (2017). Weather forecast based scheduling for demand response optimization in smart grids. 2017 Smart City Symposium Prague (SCSP), 1–6. <https://doi.org/10.1109/scsp.2017.7973867>
12. Schupbach, J., Pryor, E., Webster, K., Sheppard, J. (2022). Combining Dynamic Bayesian Networks and Continuous Time Bayesian Networks for Diagnostic and Prognostic Modeling. 2022 IEEE AUTOTESTCON, 1–8. <https://doi.org/10.1109/autotestcon47462.2022.9984758>
13. Scutari, M., Denis, J.-B. (2021). The Continuous Case: Gaussian Bayesian Networks. Bayesian Networks, 37–62. <https://doi.org/10.1201/9780429347436-2>

14. Luo, X., Yan, R., Wang, S. (2023). Comparison of deterministic and ensemble weather forecasts on ship sailing speed optimization. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 121, 103801. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103801>
15. de Matos Sá, M., Correia da Fonseca, F. X., Amaral, L., Castro, R. (2024). Optimising O&M scheduling in offshore wind farms considering weather forecast uncertainty and wake losses. *Ocean Engineering*, 301, 117518. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.117518>
16. Keun Kim, M., Cremers, B., Fu, N., Liu, J. (2024). Predictive and correlational analysis of heating energy consumption in four residential apartments with sensitivity analysis using long Short-Term memory and Generalized regression neural network models. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 71, 103976. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2024.103976>
17. Ait Lahoussine Ouali, H., Touili, S., Alami Merrouni, A., Moukhtar, I. (2024). Artificial neural Network-Based LCOH estimation for concentrated solar power plants for industrial process heating applications. *Applied Thermal Engineering*, 236, 121810. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.121810>
18. Mizushima, Y., Inoue, H., Morikawa, S., Taira, S. (2023). Optimization of formworks shoring location as a continuous optimization problem. *Structures*, 56, 104949. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.104949>
19. Wang, Y., Sun, S., Fathi, G., Eslami, M. (2024). Improving the Method of Short-term Forecasting of Electric Load in Distribution Networks using Wavelet transform combined with Ridgelet Neural Network Optimized by Self-adapted Kho-Kho Optimization Algorithm. *Heliyon*, 10 (7), e28381. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28381>
20. Feng, J., Hou, S., Yu, L., Dimov, N., Zheng, P., Wang, C. (2020). Optimization of photovoltaic battery swapping station based on weather/traffic forecasts and speed variable charging. *Applied Energy*, 264, 114708. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114708>
21. Ni, Y., Liu, W., Du, X., Xiao, R., Chen, G., Wu, Y. (2024). Evolutionary optimization approach based on heuristic information with pseudo-utility for the quadratic assignment problem. *Swarm and Evolutionary Computation*, 87, 101557. <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2024.101557>
22. Sun, F., Liu, T., Song, B., Cui, Y., Nagy, Z. K., Findeisen, R. (2024). Multi-objective optimization based nonlinear model predictive control of seeded cooling crystallization process with application to β form L-glutamic acid. *Chemical Engineering Science*, 299, 120475. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2024.120475>
23. Cadenas, J. M., Garrido, M. C., Martínez-España, R., Guillén-Navarro, M. A. (2020). Making decisions for frost prediction in agricultural crops in a soft computing framework. *Computers and Electronics in Agriculture*, 175, 105587. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105587>
24. Wang, Y., Zhang, Y. (2021). Prediction of runway configurations and airport acceptance rates for multi-airport system using gridded weather forecast. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 125, 103049. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103049>
25. Barus, E. S., Zarlis, M., Nasution, Z., Sutarman. (2019). Forecasting Plant Growth Using Neural Network Time Series. 2019 International Conference of Computer Science and Information Technology (ICoSNiKOM), 1–4. <https://doi.org/10.1109/icosnikom48755.2019.9111503>
26. Matondang, D., Saogo, D., Sianturi, R., Dapit, S., Barus, E. (2023). Analisis Pemberian Nutrisi Menggunakan Metode Fuzzy Logic Studi Kasus Tanaman Cabai. *Jurnal Teknik Informasi Dan Komputer (Tekinkom)*, 6 (2), 408–416. Available at: <https://jurnal.murnisadar.ac.id/index.php/Tekinkom/article/view/929>
27. Barus, E. S., Sahputra (2023). Sistem Monitoring Pertumbuhan Tanaman Berbasis Internet of Things. *Jurnal Ilmu Komputer Dan Sistem Informasi (JIKOMSI)*, 6 (1), 1–8. Available at: <https://ejournal.sisfo-komtek.org/index.php/jikom/article/view/849>
28. Huang, S., Wang, Z., Ge, Y., Wang, F. (2024). A coevolutionary estimation of distribution algorithm based on dynamic differential grouping for mixed-variable optimization problems. *Expert Systems with Applications*, 245, 123122. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.123122>
29. Sahputra, S., Sembiring, D. C., Sipayung, I. H., Barus, E. S. (2024). Analisis Prediksi Hasil Produksi Tanaman Cabai Menggunakan Metode Multi Linier Regresi. *Jurnal Teknik Informasi Dan Komputer (Tekinkom)*, 7 (2), 619. <https://doi.org/10.37600/tekinkom.v7i2.1512>
30. Anand, V., Oinam, B., Wieprecht, S. (2024). Machine learning approach for water quality predictions based on multispectral satellite imageries. *Ecological Informatics*, 84, 102868. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102868>
31. Senanayake, I. P., Hartmann, P., Giacomini, A., Huang, J., Thoeni, K. (2024). Prediction of rockfall hazard in open pit mines using a regression based machine learning model. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 177, 105727. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2024.105727>
32. Liu, J., Zhu, C., Long, Z., Huang, H., Liu, Y. (2021). Low-rank tensor ring learning for multi-linear regression. *Pattern Recognition*, 113, 107753. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2020.107753>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.325340

OPTIMIZATION OF GARLIC CULTIVATION LAND SELECTION USING PCA AND K-MEANS APPROACH IN SPATIAL INTELLIGENT SYSTEM (p. 54–64)

Desilia Selvida

Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5542-4116>

Annisa Fadhillah Pulungan

Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-9678-7668>

Ade Sarah Huzaifah

Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0310-3155>

The object of this research is agricultural land in highland areas that have the potential to be planted with garlic. The main problem solved is the difficulty of identifying and selecting optimal land for planting garlic efficiently and objectively, especially in large and geographically complex areas. Special focus is given to data and spatial parameters that affect land welfare. In addition, planting garlic can be a promising business opportunity, especially in areas that have environmental conditions that support its growth. However, garlic production in Indonesia is often unable to meet market demand, resulting in dependence on imports. This is a common problem that can increase the price of garlic on the market. This study aims to increase crop yields and resource utilization efficiency, but also provide adaptive solutions to climate challenges and support national food security by using principal component analysis (PCA) and K-means. Researchers use principal component analysis (PCA) to reduce data dimensions or simplify complex input variables such as altitude,

rainfall, temperature, soil type, and others-without losing important information. After that, the K-means clustering algorithm was used to group the areas into several land suitability classes based on the results of the dimension reduction from PCA. The PCA and K-Means methods help in data-based decision making for more efficient agricultural land development. The clustering results can be used by farmers, governments, and agribusiness companies to determine the most suitable locations for planting garlic. The results of the spatial study of garlic cultivation land using PCA and K-means successfully determined spatial land by conducting a classification test with a test accuracy using Inertia of 0.49% and using the Silhouette Score test of 0.89%.

Keywords: spatial land, garlic cultivation, machine learning, principal component analysis, k-means.

References

- Selvia, A., Dharanib, D., Gobikac, T., Harinid, S., Nithya, N. (2021). Onion Yield Prediction Based on Machine Learning. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)*, 12 (2). <https://doi.org/10.17762/turcomat.v12i2.1972>
- Choi, J., Cho, S., Choi, S., Jung, M., Lim, Y., Lee, E. et al. (2024). Genotype-Driven Phenotype Prediction in Onion Breeding: Machine Learning Models for Enhanced Bulb Weight Selection. *Agriculture*, 14 (12), 2239. <https://doi.org/10.3390/agriculture14122239>
- Tori, H., Dyanasari, Kholil, A. Y. (2023). Prospect Analysis of Onion (*allium cepa* L) Production in Indonesia. *Indonesian Journal of Agriculture and Environmental Analytics*, 2 (1), 1–14. <https://doi.org/10.55927/ijaea.v2i1.2705>
- Sugiartini, E., Eris, F. R., Pancaningsih, E., Nurviani, O., Herawati, N. (2021). Studies on Cultivation of Several Varieties of Onion (*Allium ascalonicum* L.) under Plastic Shade during Rainy Season in Jakarta. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 715 (1), 012044. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/715/1/012044>
- Utami, I. R. P., Roessali, W., Gayatri, S. (2023). Sustainability Analysis Of Onion Cultivation In Demak District, Central Java Province. *Agri-sociconomics: Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian*, 7 (3), 660–670. <https://doi.org/10.14710/agrisociconomics.v7i3.17401>
- Razali, Nasution, Z., Rahmawaty, Hanum, C. (2023). Effect of Soil Texture on the Productivity of Two Shallot Varieties. *Indonesian Journal of Agricultural Research*, 6 (01), 43–50. <https://doi.org/10.32734/injar.v6i01.8217>
- Gomes, J. D. J., Widaryanto, E., Ariffin, Wicaksono, K. P. (2019). The Test of Genotype Adaptation of Several Garlic Varieties on the Highland. *OnLine Journal of Biological Sciences*, 19 (4), 203–212. <https://doi.org/10.3844/ojbsci.2019.203.212>
- Mukhibah, D., Sitanggang, I. S., -, A. (2023). Classification of Garlic Land Based on Growth Phase using Convolutional Neural Network. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 14 (6). <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2023.01406100>
- Ugarkovic, A., Oreski, D. (2022). Supervised and Unsupervised Machine Learning Approaches on Class Imbalanced Data. *2022 International Conference on Smart Systems and Technologies (SST)*, 159–162. <https://doi.org/10.1109/sst55530.2022.9954646>
- Nurjulaiha, S., Kurniawan, R., Dikananda, A. R., Suprpti, T. (2025). Optimizing Naïve Bayes Algorithm Through Principal Component Analysis To Improve Dengue Fever Patient Classification Model. *Journal of Artificial Intelligence and Engineering Applications (JAIEA)*, 4 (2), 1005–1015. <https://doi.org/10.59934/jaiea.v4i2.798>
- Abed Mohammed, A., Sumari, P., Attabi, kassem. (2024). Hybrid K-means and Principal Component Analysis (PCA) for Diabetes Prediction. *International Journal of Computing and Digital Systems*, 15 (1), 1719–1728. <https://doi.org/10.12785/ijcds/1501121>
- Jansson, N. F., Allen, R. L., Skogsmo, G., Tavakoli, S. (2022). Principal component analysis and K-means clustering as tools during exploration for Zn skarn deposits and industrial carbonates, Sala area, Sweden. *Journal of Geochemical Exploration*, 233, 106909. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2021.106909>
- Rafrin, M., Muh. Agus, Putri Ayu Maharani (2024). IoT-Based Irrigation System Using Machine Learning for Precision Shallot Farming. *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem Dan Teknologi Informasi)*, 8 (2), 216–222. <https://doi.org/10.29207/resti.v8i2.5579>
- Kalpana, P., Smitha, L., Madhavi, D., Nabi, S. A., Kalpana, G., Kodati, S. (2024). A Smart Irrigation System Using the IoT and Advanced Machine Learning Model. *International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering*, 10 (4). <https://doi.org/10.22399/ijcesen.526>
- Wulandari, E., Al Hakim, R. R., Saputri, L. D., Syahdiar, I. A., Pangestu, A., Jaenul, A. (2021). Mr. Ryttem, An IoT-Based Smart Irrigation System Application Design for Cultivation Engineering of *Allium sativum* Garlic in Lowland Conditions. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro, Sistem Informasi, dan Teknik Informatika*. Available at: https://www.researchgate.net/publication/351270518_Mr_Ryttem_An_IoT-Based_Smart_Irrigation_System_Application_Design_for_Cultivation_Engineering_of_Allium_sativum_Garlic_in_Lowland_Conditions
- Liu, J., Yuan, J., Cui, J., Liu, Y., Liu, X. (2022). Contour Resampling-Based Garlic Clove Bud Orientation Recognition for High-Speed Precision Seeding. *Agriculture*, 12 (9), 1334. <https://doi.org/10.3390/agriculture12091334>
- Sitanggang, I. S., Nurkholis, A., Annisa, Agmalaro, M. A. (2019). Garlic Land Suitability System based on Spatial Decision Tree. *Proceedings of the International Conferences on Information System and Technology*, 206–210. <https://doi.org/10.5220/0009908002060210>
- Jiang, Y., Wang, T., Zhao, H., Shao, X., Cui, W., Huang, K., Li, L. (2019). Big Data Analysis Applied in Agricultural Planting Layout Optimization. *Applied Engineering in Agriculture*, 35 (2), 147–162. <https://doi.org/10.13031/aea.12790>
- Rathor, A. S., Choudhury, S., Sharma, A., Nautiyal, P., Shah, G. (2024). Empowering vertical farming through IoT and AI-Driven technologies: A comprehensive review. *Heliyon*, 10 (15), e34998. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34998>
- Mohammed, M. A., Akawee, M. M., Saleh, Z. H., Hasan, R. A., Ali, A. H., Sutikno, T. (2023). The effectiveness of big data classification control based on principal component analysis. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 12 (1), 427–434. <https://doi.org/10.11591/eei.v12i1.4405>
- Iliyas, I. I., Boukari, S., Gital, A. Y. (2024). A Proposed Multilayer Perceptron Model and Kernel Principal Analysis Component for the Prediction of Chronic Kidney Disease. *International Journal of Artificial Intelligence*, 11 (2), 99–113. <https://doi.org/10.36079/lamintang.ijai-01102.783>
- Ahmad, I. A., Jawad Al-Nayar, M. M., Mahmood, A. M. (2023). A comparative study of Gaussian mixture algorithm and K-means algorithm for efficient energy clustering in MWSN. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 12 (6), 3727–3735. <https://doi.org/10.11591/eei.v12i6.5707>

23. Oti, E. U., Olusola, M. O., Eze, F. C., Enogwe, S. U. (2021). Comprehensive Review of K-Means Clustering Algorithms. *International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering*, 07 (08), 64–69. <https://doi.org/10.31695/ijasre.2021.34050>
24. Guslendra, G., Defit, S., Bastola, R. (2021). K-Means and K-NN Methods For Determining Student Interest. *International Journal of Artificial Intelligence Research*, 6 (1). <https://doi.org/10.29099/ijair.v6i1.222>
25. Astorino, A., Gorgone, E., Gaudio, M., Pallaschke, D. (2011). Data preprocessing in semi-supervised SVM classification. *Optimization*, 60 (1-2), 143–151. <https://doi.org/10.1080/02331931003692557>
26. Sami, O., Elsheikh, Y., Almasalha, F. (2021). The Role of Data Pre-processing Techniques in Improving Machine Learning Accuracy for Predicting Coronary Heart Disease. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 12 (6). <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2021.0120695>
27. Park, H.-J., Koo, Y.-S., Yang, H.-Y., Han, Y.-S., Nam, C.-S. (2024). Study on Data Preprocessing for Machine Learning Based on Semiconductor Manufacturing Processes. *Sensors*, 24 (17), 5461. <https://doi.org/10.3390/s24175461>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.333721

DEVELOPMENT OF LEARNING MODELS BASED ON MACHINE LEARNING WITH QUANTUM ANNEALING FOR LEARNING OPTIMIZATION IN THE DIGITAL ERA (p. 65–72)

Irfan Dahnial

Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Glugur Darat II, Kec. Medan Tim., Kota Medan, Sumatera Utara, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3828-7150>

Al-khowarizmi

Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Glugur Darat II, Kec. Medan Tim., Kota Medan, Sumatera Utara, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4401-9999>

Karina Winda

Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Glugur Darat II, Kec. Medan Tim., Kota Medan, Sumatera Utara, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5115-5661>

The object of this study is the prediction of digital learning achievement. The problems solved in this study are the low accuracy and efficiency of the prediction model caused by the complexity of the learning data and the limitations of conventional tuning methods such as grid search and random search which are unable to optimally navigate the wide and non-linear parameter space. The results obtained show that the integration of quantum annealing into the hyperparameter optimization process can significantly improve model performance. Model accuracy increased from 82% to 91%, with consistent improvements in precision, recall, and F1-score. The model also showed faster convergence and lower losses on both training and testing data, indicating better generalization capabilities to new data. Interpretation of these results concludes that quantum annealing can navigate the parameter space efficiently, exploring combinations of values that are unreachable by conventional methods. The main feature and characteristic of these results lies in its ability to combine the computational efficiency of LightGBM with the exploration of complex solutions through quantum methods, making it very suitable for dynamic learning problems. The scope and conditions of practical use

of the developed model include digital-based learning management systems, adaptive learning platforms. These findings are relevant to be applied in the development of artificial intelligence-based education systems that support personalization in the current era of digital transformation.

Keywords: machine learning, hyperparameter tuning, complexity of quantum annealing, optimization digital transformation.

References

1. Yulianti, L. P., Surendro, K. (2022). Implementation of Quantum Annealing: A Systematic Review. *IEEE Access*, 10, 73156–73177. <https://doi.org/10.1109/access.2022.3188117>
2. Salloum, H., Aldaghstany, H. S., Orabi, O., Haidar, A., Bahrami, M. R., Mazzara, M. (2024). Integration of Machine Learning with Quantum Annealing. *Advanced Information Networking and Applications*, 338–348. https://doi.org/10.1007/978-3-031-57870-0_30
3. Nath, R. K., Thapliyal, H., Humble, T. S. (2021). A Review of Machine Learning Classification Using Quantum Annealing for Real-World Applications. *SN Computer Science*, 2 (5). <https://doi.org/10.1007/s42979-021-00751-0>
4. Salloum, H., Sabbagh, K., Savchuk, V., Lukin, R., Orabi, O., Isangulov, M., Mazzara, M. (2025). Performance of Quantum Annealing Machine Learning Classification Models on ADMET Datasets. *IEEE Access*, 13, 16263–16287. <https://doi.org/10.1109/access.2025.3531391>
5. Jooya, A., Keshavarz, B., Dimopoulos, N., Oberoi, J. S. (2017). Accelerating Neural Network Ensemble Learning Using Optimization and Quantum Annealing Techniques. *Proceedings of the Second International Workshop on Post Moores Era Supercomputing*, 1–7. <https://doi.org/10.1145/3149526.3149528>
6. Zielewski, M., Takahashi, K., Shimomura, Y., Takizawa, H. (2023). Efficient Pause Location Prediction Using Quantum Annealing Simulations and Machine Learning. *IEEE Access*, 11, 104285–104294. <https://doi.org/10.1109/access.2023.3317698>
7. Wang, H., Wang, W., Liu, Y., Alidaee, B. (2022). Integrating Machine Learning Algorithms With Quantum Annealing Solvers for Online Fraud Detection. *IEEE Access*, 10, 75908–75917. <https://doi.org/10.1109/access.2022.3190897>
8. Panizza, V., Hauke, P., Micheletti, C., Faccioli, P. (2024). Protein Design by Integrating Machine Learning with Quantum Annealing and Quantum-inspired Optimization. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2407.07177>
9. Pranjic, D., Mummaneni, B. C., Tutschku, C. (2024). Quantum Annealing based Feature Selection in Machine Learning. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2411.19609>
10. Yoon, B., Chang, C. C., Kenyon, G. T., Nguyen, N. T. T., Rrapaj, E. (2022). Prediction and compression of lattice QCD data using machine learning algorithms on quantum annealer. *Proceedings of The 38th International Symposium on Lattice Field Theory — PoS(LATTICE2021)*, 143. <https://doi.org/10.22323/1.396.0143>
11. Yulianti, L. P., Trisetyarso, A., Santoso, J., Surendro, K. (2023). A hybrid quantum annealing method for generating ensemble classifiers. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 35(10), 101831. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2023.101831>
12. Setiadi, D. R. I. M., Susanto, A., Nugroho, K., Muslikh, A. R., Ojugo, A. A., Gan, H.-S. (2024). Rice Yield Forecasting Using Hybrid Quantum Deep Learning Model. *Computers*, 13 (8), 191. <https://doi.org/10.3390/computers13080191>

13. Felefly, T., Roukoz, C., Fares, G., Achkar, S., Yazbeck, S., Meyer, P. et al. (2023). An Explainable MRI-Radiomic Quantum Neural Network to Differentiate Between Large Brain Metastases and High-Grade Glioma Using Quantum Annealing for Feature Selection. *Journal of Digital Imaging*, 36 (6), 2335–2346. <https://doi.org/10.1007/s10278-023-00886-x>
14. Okey, O. D., Maidin, S. S., Lopes Rosa, R., Toor, W. T., Carrillo Melgarejo, D., Wuttisittikulij, L. et al. (2022). Quantum Key Distribution Protocol Selector Based on Machine Learning for Next-Generation Networks. *Sustainability*, 14 (23), 15901. <https://doi.org/10.3390/su142315901>
15. Samà, M., D'Ariano, A., D'Ariano, P., Pacciarelli, D. (2017). Scheduling models for optimal aircraft traffic control at busy airports: Tardiness, priorities, equity and violations considerations. *Omega*, 67, 81–98. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2016.04.003>
16. Jamili, A. (2017). A robust mathematical model and heuristic algorithms for integrated aircraft routing and scheduling, with consideration of fleet assignment problem. *Journal of Air Transport Management*, 58, 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2016.08.008>
17. Zhang, L., Li, Z., Królczyk, G., Wu, D., Tang, Q. (2019). Mathematical modeling and multi-attribute rule mining for energy efficient job-shop scheduling. *Journal of Cleaner Production*, 241, 118289. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118289>
18. Correa Issi, G., Linfati, R., Escobar, J. W. (2020). Mathematical Optimization Model for Truck Scheduling in a Distribution Center with a Mixed Service-Mode Dock Area. *Journal of Advanced Transportation*, 2020, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2020/8813372>
19. Hammad, A. W., Grzybowska, H., Sutrisna, M., Akbarnezhad, A., Haddad, A. (2019). A novel mathematical optimisation model for the scheduling of activities in modular construction factories. *Construction Management and Economics*, 38 (6), 534–551. <https://doi.org/10.1080/01446193.2019.1682174>
20. Aly, M. (2024). Revolutionizing online education: Advanced facial expression recognition for real-time student progress tracking via deep learning model. *Multimedia Tools and Applications*, 84 (13), 12575–12614. <https://doi.org/10.1007/s11042-024-19392-5>
21. Rizwan, S., Nee, C. K., Garfan, S. (2025). Identifying the Factors Affecting Student Academic Performance and Engagement Prediction in MOOC Using Deep Learning: A Systematic Literature Review. *IEEE Access*, 13, 18952–18982. <https://doi.org/10.1109/access.2025.3533915>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.331895

OPTIMIZING PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTOR CONTROL: A COMPARATIVE STUDY OF MPCC-BASED TECHNIQUES (p. 73–89)

Doan Van Hoa

Industrial University of Ho Chi Minh City, Go Vap District,
Ho Chi Minh, Vietnam

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6560-0857>

Huynh Hoang Bao Nghia

Industrial University of Ho Chi Minh City, Go Vap District,
Ho Chi Minh, Vietnam

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-9443-0016>

Le Van Dai

Industrial University of Ho Chi Minh City, Go Vap District,
Ho Chi Minh, Vietnam

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9312-0025>

This study focuses on optimizing the control of permanent magnet synchronous motors (PMSMs) by introducing a new model predictive current control (MPCC) strategy, integrated with the adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS), referred to as ANFIS-MPCC. The main problem addressed in this research is the challenge of improving the dynamic response of PMSMs under varying operating conditions, particularly under rapid load and speed variations. Traditional control methods like proportional-integral MPCC (PI-MPCC) and artificial neural network MPCC (ANN-MPCC) are compared with the proposed ANFIS-MPCC method to evaluate its effectiveness in solving issues such as overshoot reduction, settling time minimization, and harmonic distortion (THD) suppression. The results show that ANFIS-MPCC significantly outperforms the traditional methods, with overshoot reduced to 0.015%, a settling time of 0.00147 seconds, and THD minimized to 2.0% at rated speed and 2.02% at low speed. These improvements demonstrate that ANFIS-MPCC is highly effective in controlling PMSMs, particularly in systems exposed to rapid load changes and dynamic speed variations. The method's key advantage lies in its integration of fuzzy logic and neural networks, allowing superior handling of nonlinearities and dynamic load conditions. The results suggest that ANFIS-MPCC is especially beneficial for industrial motor control systems and electric vehicles, where fast response, stability, and low harmonic distortion are crucial.

Keywords: PMSM, MPCC, ANFIS, ANN, THD, industrial drives, electric vehicles.

References

1. Fu, R., Cao, Y. (2021). Hybrid flux predictor-based predictive flux control of permanent magnet synchronous motor drives. *IET Electric Power Applications*, 16 (4), 472–482. <https://doi.org/10.1049/elp2.12168>
2. Hu, J., Fu, Z., Xu, R., Jin, T., Feng, Z., Wang, S. (2024). Low-Complexity Model Predictive Control for Series-Winding PMSM with Extended Voltage Vectors. *Electronics*, 14 (1), 127. <https://doi.org/10.3390/electronics14010127>
3. Pang, S., Zhang, Y., Huangfu, Y., Li, X., Tan, B., Li, P. et al. (2024). A Virtual MPC-Based Artificial Neural Network Controller for PMSM Drives in Aircraft Electric Propulsion System. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 60 (2), 3603–3612. <https://doi.org/10.1109/tia.2023.3338605>
4. Wen, D., Zhang, Y., Zhang, Y. (2023). Three-vector model-free predictive control for permanent magnet synchronous motor. *IET Power Electronics*, 16 (16), 2754–2768. <https://doi.org/10.1049/pe2.12599>
5. Wang, H., Wu, X., Zheng, X., Yuan, X. (2023). Model Predictive Current Control of Nine-Phase Open-End Winding PMSMs With an Online Virtual Vector Synthesis Strategy. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 70 (3), 2199–2208. <https://doi.org/10.1109/tie.2022.3174241>
6. Sangar, B., Singh, M., Sreejeth, M. (2024). An improved ANFIS model predictive current control approach for minimizing torque and current ripples in PMSM-driven electric vehicle. *Electrical Engineering*, 106 (5), 5897–5907. <https://doi.org/10.1007/s00202-024-02346-3>
7. Alitasb, G. K. (2024). Integer PI, fractional PI and fractional PI data trained ANFIS speed controllers for indirect field oriented control of induction motor. *Heliyon*, 10 (18), e37822. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e37822>

8. Rodriguez, C. A., Ponce, P., Molina, A. (2016). ANFIS and MPC controllers for a reconfigurable lower limb exoskeleton. *Soft Computing*, 21 (3), 571–584. <https://doi.org/10.1007/s00500-016-2321-9>
9. Bouguenna, I. F., Tahour, A., Kennel, R., Abdelrahem, M. (2021). Multiple-Vector Model Predictive Control with Fuzzy Logic for PMSM Electric Drive Systems. *Energies*, 14 (6), 1727. <https://doi.org/10.3390/en14061727>
10. Dianov, A., Tinazzi, F., Calligaro, S., Bolognani, S. (2022). Review and Classification of MTPA Control Algorithms for Synchronous Motors. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 37 (4), 3990–4007. <https://doi.org/10.1109/tpel.2021.3123062>
11. Gade, C. R., W, R. S. (2022). Control of Permanent Magnet Synchronous Motor Using MPC–MTPA Control for Deployment in Electric Tractor. *Sustainability*, 14 (19), 12428. <https://doi.org/10.3390/su141912428>
12. Yu, H., Wang, J., Xin, Z. (2022). Model Predictive Control for PMSM Based on Discrete Space Vector Modulation with RLS Parameter Identification. *Energies*, 15 (11), 4041. <https://doi.org/10.3390/en15114041>
13. Dai, L., Tung, D. (2017). Modeling for Development of Simulation Tool: A Case Study of Grid Connected Doubly Fed Induction Generator Based on Wind Energy Conversion System. *International Journal of Applied Engineering Research*, 12 (11), 2981–2996.
14. Utomo, W. M., Muhammad Zin, N., Haron, Z. A., Sim, S. Y., Bohari, A. A. et al. (2014). Speed Tracking of Field Oriented Control Permanent Magnet Synchronous Motor Using Neural Network. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, 4 (3). <https://doi.org/10.11591/ijped.v4i3.5941>
15. Jang, J.-S. R. (1993). ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 23 (3), 665–685. <https://doi.org/10.1109/21.256541>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.329139

СИНТЕЗ НЕЙРОЕЛЕМЕНТІВ РЕКУРСИВНОГО ТИПУ З ПАРАЛЕЛЬНОЮ ВЕРТИКАЛЬНО-ГРУПОВОЮ ОБРОБКОЮ ДАНИХ (с. 6–16)

І. Г. Цмоць, В. М. Теслюк, Ю. В. Опотяк, Т. Б. Мамчур, О. О. Олійник

Об'єктом дослідження є процеси паралельного вертикально-групового опрацювання даних та мінімізації витрат обладнання, що забезпечують синтез нейронних елементів рекурсивного типу реального часу з високою ефективністю використання обладнання. Розроблено модель нейроелемента рекурсивного типу, яка за рахунок використання паралельного вертикально-групового методу обчислення скалярного добутку та можливості вибору кількості розрядів у групі для формування часткових добутків узгоджує час надходження вагових коефіцієнтів і вхідних даних з часом обчислення результату на виході нейроелемента. Такий підхід забезпечує апаратну реалізацію нейронного елемента з мінімізацією використання обладнання. Розроблено базову структуру нейроелемента, яка за рахунок використання апаратного відображення розробленої графової моделі, регулярності і модульності структури забезпечує синтез апаратних засобів для конкретного застосування. Використання конвеєризації і просторового паралелізму обробки даних, організації процесу обчислення скалярного добутку як виконання єдиної операції забезпечує реалізацію нейроелемента для роботи у реальному часі. Розроблено аналітичні вирази для оцінювання параметрів нейроелемента в залежності від розрядності операндів, кількості вхідних даних та кількості розрядів у групі. Розроблено метод синтезу нейроелемента рекурсивного типу, який за рахунок використання базової структури, механізмів узгодження часу надходження вагових коефіцієнтів і вхідних даних з часом обчислення виходу забезпечує його реалізацію для конкретних застосувань. Врахування шляхів мінімізації витрат обладнання забезпечує створення нейроелемента з мінімальними апаратними затратами. Синтезований нейроелемент для розрядності даних 16 біт при збільшенні кількості розрядів, які одночасно обробляються у групі, з 2 до 8, забезпечує зменшення тривалості обробки у 2,8 разів при зниженні ефективності використання обладнання нейроелемента не більше як у 1,6 разів.

Ключові слова: модель нейроелемента, реальний час виконання обчислень, апаратна реалізація нейронного елемента.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.333720

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ОЦІНКИ МЕТОДІВ АВТЕНТИФІКАЦІЇ КОРИСТУВАЧІВ З УРАХУВАННЯМ БЕЗПЕКИ, ЗРУЧНОСТІ ТА ЧАСТОТИ ВИКОРИСТАННЯ (с. 17–29)

Olga Ussatova, Shakirt Makilenov, Vladislav Karyukin, Abdul Razaque, Saule Amanzholova, Yenlik Begimbayeva

Об'єктом дослідження є системи автентифікації в умовах підвищених вимог до безпеки, особливо в сфері охорони здоров'я. Проблема, яку вирішує робота, полягає у відсутності комплексних підходів, що поєднують як дані про загрози, так і користувацькі чинники для порівняння методів у реальних умовах.

Розроблено модель оцінювання для аналізу емпіричної ефективності методів автентифікації користувачів. Запропонована модель інтегрує ймовірнісне моделювання загроз, дані про зручність використання та зважений багатокритеріальний аналіз для формування контекстно-чутливих показників ефективності, що сприяє прийняттю обґрунтованих рішень.

Дванадцять методів автентифікації були оцінені за трьома критеріями: Безпека (стійкість до кіберзагроз), Зручність (сприйняття користувачами), Частота використання (реальне впровадження). Коефіцієнти безпеки (K_2) були обчислені на основі статистики загроз, а дані про зручність і поширеність зібрані за результатами опитування у медичній установі ($n = 70$). Застосовано зважену нормалізацію ($w_s = 0.4$, $w_u = 0.3$, $w_f = 0.3$) для отримання інтегральних оцінок ефективності (E). Найбільш ефективними виявилися мобільні пристрої ($E = 30.915$), PIN-коди ($E = 30.252$) і автентифікація за відбитками пальців ($E = 29.235$), що забезпечують оптимальний баланс безпеки та прийнятності. Низьку ефективність показали графічні паролі ($E = 6.132$) та ірис-сканування ($E = 7.245$) через слабку зручність та обмежене впровадження.

Особливість моделі полягає в цілісній інтеграції загроз і емпіричних користувацьких даних, а також в адаптивності до організаційних потреб і візуальній інтерпретованості. Це відрізняє її від одномірних або статичних моделей оцінювання.

Ключові слова: автентифікація, кібербезпека, зручність, ефективність, оцінювання, загрози, біометрія, токени, ризики, безпека.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.326956

РОЗРОБКА ГІБРИДНОЇ АРХІТЕКТУРИ СІАМСЬКОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ТА НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ПРЯМОГО ПОШИРЕННЯ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ СЕМАНТИЧНОЇ ПОДІБНОСТІ ТЕКСТІВ (с. 30–41)

Ng Poi Wong, Tengku Henny Febriana Harumy, Syahril Efendi

Об'єктом цього дослідження є семантична подібність між двома текстами. Це дослідження зосереджено на розробці гібридної архітектури, яка поєднує сіамську нейронну мережу (SNN) з нейронною мережею прямого поширення (FNN) для вимірювання семантичної подібності тексту, з представленням тексту за допомогою методу Sentence-BERT. Розглядається проблема виявлення глибоких семантичних зв'язків між двома текстами, чого важко досягти традиційними методами, такими як метод частоти термінів

та зворотної частоти документів (TF-IDF) або Word2Vec. Це дослідження спрямоване на подолання цих недоліків шляхом об'єднання двох архітектур у більш потужну гібридну систему. Результати тестування показують найвищу точність 87,82% на наборі даних Semantic Textual Similitude (STS) з використанням моделі SBERT «all-MiniLM-L6-v2», 76,72% на наборі даних Quora Question Pairs (QQP) з використанням моделі «multi-qa-MiniLM-L6-cos-v1» та 73,79% на наборі даних Microsoft Research Paraphrase Corpus (MSRP) з використанням моделі «paraphrase-MiniLM-L12-v2». Оптимальні параметри для кількості епох коливалися від 300 до 700, а оптимальний коефіцієнт навчання – від 0,01 до 0,5. Моделі SBERT, такі як «paraphrase-MiniLM-L6-v2» та «paraphrase-MiniLM-L12-v2», дали найкращі результати на відповідних наборах даних. Гнучкість моделі «multi-qa-MiniLM-L6-cos-v1» також показує, що модель, розроблена для завдань запитань і відповідей, може бути використана в області виявлення перефраз. Унікальною особливістю моделі є інтеграція SBERT як текстового представлення, що призводить до багатшого семантичного вектора, ніж традиційні методи. Модель має потенціал для широкого застосування в різних областях, таких як виявлення плагіату, юридичні документи та системи запитань і відповідей. Однак реалізація вимагає уваги до вибору параметрів, таких як швидкість навчання та кількість епох, щоб уникнути надмірного або недостатнього налаштування.

Ключові слова: нейронна мережа прямого поширення, семантична текстова подібність, Sentence-BERT, сіамська нейронна мережа.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.331745

РОЗРОБКА МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОГНОЗУВАННЯ, РЕАЛІЗОВАНОГО В МОРФОЛОГІЇ РОСТУ РОСЛИН (с. 42–53)

Ertina Sabarita Barus, Muhammad Zarlis, Zulkifli Nasution, Sutarman

Об'єктом дослідження є прогнозування та оптимізація росту рослин. Розподіл даних на кожній ітерації в процесі безперервної оптимізації має тенденцію призводити до передчасної збіжності, оскільки оптимальні точки знаходяться на початку ітерації, тому фактичний оптимальний стан не може бути досягнутий. З цієї причини потрібен метод, щоб побачити оптимальні точки на кожній ітерації в процесі безперервної оптимізації. Для прогнозування змінних, що генеруються на кожній ітерації, використовується підхід багатолінійної регресії, а потім вони оптимізуються за допомогою методу нейронної мережі для кожної знайденої оптимальної точки. Це дослідження реалізовано на спостереженні морфології росту рослин чилі із загальною вибіркою зі 100 стебел протягом 100 днів росту. Процес тестування складається з 5 різних експериментальних сценаріїв на основі функції активації, а процес ітерації проводиться на 250, 500 та 1000 епохах. Крім того, з відсотком навчальних даних 70% та тестових даних 30%, результати, отримані за допомогою функції активації ReLU, мають ідеальне значення порівняно з функціями активації Tanh, Softplus, Elu та Sigmoid. Порівняно з методом часових рядів зі значенням MSE 4,62, це значення значно краще, ніж значення 8,6 для часового ряду. Значення RMSE та MAPE 16,36 та 36,53 також є достатніми. Порівняння рівня точності прогнозування результатів безперервної оптимізації, проведеної з використанням функції активації ReLU та tanh, у порівнянні з методом часових рядів, значення з функцією активації ReLU та tanh має відсоткове значення 46,36% та 46,86%, і це значення є хорошим порівняно з використанням методу часових рядів, який становить рівно 67,39%.

Ключові слова: оптимізація прогнозування, морфологія рослин, машинне навчання, нейронна мережа багатолінійної регресії.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.325340

ОПТИМІЗАЦІЯ ВИБОРУ ЗЕМЕЛЬНИХ ДІЛЯНОК ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ ЧАСНИКУ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ГОЛОВНИХ КОМПОНЕНТІВ ТА К-СЕРЕДНІХ ПІДХОДІВ У ПРОСТОРОВІЙ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІЙ СИСТЕМІ (с. 42–53)

Desilia Selvida, Annisa Fadhillah Pulungan, Ade Sarah Huzaifah

Об'єктом цього дослідження є сільськогосподарські угіддя у високогірних районах, які мають потенціал для вирощування часнику. Основна проблема, яку вирішувалась, полягає у складності визначення та вибору оптимальної землі для ефективного та об'єктивного вирощування часнику, особливо на великих та географічно складних територіях. Особлива увага приділяється даним та просторовим параметрам, які впливають на добробут земель. Крім того, вирощування часнику може бути перспективною бізнес-можливістю, особливо в районах з екологічними умовами, що сприяють його зростанню. Однак виробництво часнику в Індонезії часто не в змозі задовольнити ринковий попит, що призводить до залежності від імпорту. Це поширена проблема, яка може збільшити ціну часнику на ринку. Це дослідження має на меті підвищити врожайність сільськогосподарських культур та ефективність використання ресурсів, а також запропонувати адаптивні рішення для кліматичних проблем та підтримати національну продовольчу безпеку за допомогою методу головних компонентів (МГК) та К-середніх. Дослідники використовують метод головних компонентів (МГК) для зменшення розмірності даних або спрощення складних вхідних змінних, таких як висота над рівнем моря, кількість опадів, температура, тип ґрунту та інші, без втрати важливої інформації. Після цього було використано алгоритм кластеризації К-середніх для групування територій у кілька класів придатності земель на основі результатів зменшення розмірності за допомогою МГК. Методи МГК та К-середніх допомагають у прийнятті рішень на основі даних для більш ефективного освоєння сільськогосподарських угідь. Результати кластеризації можуть бути використані фермерами, урядами та агробізнес-компаніями для визначення найбільш підходящих місць для посадки часнику. Результати просторового дослідження земель під вирощування часнику з використанням МГК та К-середніх успішно визначили просторові землі шляхом проведення класифікаційного тесту з точністю тесту за допомогою Inertia 0,49% та за допомогою тесту Silhouette Score 0,89%.

Ключові слова: просторові землі, вирощування часнику, машинне навчання, метод головних компонентів, k-середні.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.333721**РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ НАВЧАННЯ НА ОСНОВІ МАШИННОГО НАВЧАННЯ З КВАНТОВИМ ВІДПАЛОМ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ НАВЧАННЯ В ЦИФРОВУ ЕРУ (с. 65–72)****Irfan Dahnial, Al-Khowarizmi, Karina Winda**

Об'єктом цього дослідження є прогнозування успішності цифрового навчання. Проблема, що вирішуються в цьому дослідженні, полягає у низькій точності та ефективності моделі прогнозування, спричиненій складністю навчальних даних, та обмеженнями традиційних методів налаштування, таких як пошук по сітці та випадковий пошук, які не здатні оптимально орієнтуватися в широкому та нелінійному просторі параметрів. Отримані результати показують, що інтеграція квантового відпалу в процес оптимізації гіперпараметрів може значно покращити продуктивність моделі. Точність моделі зросла з 82% до 91%, з постійним покращенням точності, повноти та F1-оцінки. Модель також продемонструвала швидшу збіжність та менші втрати як на навчальних, так і на тестових даних, що свідчить про кращі можливості узагальнення на нові дані. З інтерпретації цих результатів можна зробити висновок, що квантовий відпал може ефективно орієнтуватися в просторі параметрів, досліджуючи комбінації значень, які недоступні традиційними методами. Головною особливістю та характеристикою цих результатів є їхня здатність поєднувати обчислювальну ефективність LightGBM з дослідженням складних рішень за допомогою квантових методів, що робить її дуже придатною для задач динамічного навчання. Сфера застосування та умови практичного використання розробленої моделі включають цифрові системи управління навчанням, адаптивні навчальні платформи. Ці висновки є актуальними для застосування в розробці освітніх систем на основі штучного інтелекту, які підтримують персоналізацію в сучасну епоху цифрової трансформації.

Ключові слова: машинне навчання, налаштування гіперпараметрів, складність квантового відпалу, оптимізація цифрової трансформації.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.331895**ОПТИМІЗАЦІЯ КЕРУВАННЯ СИНХРОННИМ ДВИГУНОМ НА ПОСТІЙНИХ МАГНІТАХ: ПОРІВНЯЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ НА ОСНОВІ МПКС (р. 73–89)****Doan Van Hoa, Huynh Hoang Bao Nghia, Le Van Dai**

Це дослідження зосереджено на оптимізації керування синхронними двигунами з постійними магнітами (СДПМ) шляхом впровадження нової модельної стратегії прогнозного керування струмом (МПКС), інтегрованої з адаптивною системою нейрончїткого виводу (ІАСНВ), що називається ІАСНВ - МПКС. Основною проблемою, що розглядається в цьому дослідженні, є покращення динамічної реакції СДПМ за різних робочих умов, особливо за швидких змін навантаження та швидкості. Традиційні методи керування, такі як пропорційно-інтегральний МПК (ПІ-МПК) та штучна нейронна мережа ПКСМ (ШНМ-МПКС), порівнюються із запропонованим методом ІАСНВ-МПКС для оцінки його ефективності у вирішенні таких проблем, як зменшення перерегулювання, мінімізація часу встановлення та придушення гармонійних спотворень (ВГС). Результати показують, що ІАСНВ-МПКС значно перевершує традиційні методи, зі зменшенням перерегулювання до 0,015%, часом встановлення 0,00147 секунди та мінімізацією ВГС до 2,0% при номінальній швидкості та 2,02% при низькій швидкості. Ці вдосконалення демонструють, що ІАСНВ-МПКС є високоефективним у керуванні СДПМ, особливо в системах, що піддаються швидким змінам навантаження та динамічним коливанням швидкості. Ключова перевага методу полягає в інтеграції нечіткої логіки та нейронних мереж, що дозволяє краще обробляти нелінійності та динамічні умови навантаження. Результати свідчать про те, що ІАСНВ-МПКС особливо корисний для промислових систем керування двигунами та електромобілів, де швидка реакція, стабільність та низький коефіцієнт гармонійних спотворень є критично важливими.

Ключові слова: МПКС, МПК, ІАСНВ, ШНМ, ВГС, промислові приводи, електромобілі.