

ABSTRACT AND REFERENCES

MATHEMATICS AND CYBERNETICS – APPLIED ASPECTS

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.326955

IDENTIFYING THE IMPACT OF METAPERCEPTRON IN OPTIMIZING NEURAL NETWORKS: A COMPARATIVE STUDY OF GRADIENT DESCENT AND METAHEURISTIC APPROACHES (p. 6–17)

Darwin

Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia
 Universitas Mikroskil, Medan, Indonesia
 ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3168-5323>

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>

Carles Juliandy

Universitas Mikroskil, Medan, Indonesia
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6407-201X>

Binarwan Halim

Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6483-3907>

This study investigates the application of the Metaperceptron framework as an adaptive optimization mechanism in training neural networks for polycystic ovary syndrome (PCOS) diagnosis. The research addresses the persistent challenges in conventional optimization methods such as slow convergence, local minima entrapment, and hyperparameter sensitivity that hinder the efficiency and generalization capability of artificial neural networks. By integrating Metaperceptron with both gradient descent (GD) and genetic algorithm (GA), this work demonstrates significant improvements in convergence speed and diagnostic accuracy. Specifically, Metaperceptron-enhanced GD reduced convergence time by nearly 40% while maintaining high accuracy (0.8950 for single-layer neural network and 0.9100 for multi-layer neural network). These results were achieved through dynamic learning rate adjustment and meta-level control over search strategies, enabling better exploration-exploitation balance during training. The findings are explained by the framework's ability to adaptively respond to gradient landscapes and dataset characteristics, offering a more stable and efficient optimization process. Practical implementation of the proposed method is feasible under conditions where data quality and representativeness are ensured, particularly in medical diagnostics and other domains involving imbalanced or noisy datasets.

Keywords: Metaperceptron, neural networks, gradient descent, metaheuristic algorithms, optimization.

References

- Dastres, R., Soori, M. (2021). Artificial Neural Network Systems. *International Journal of Imaging and Robotics (IJIR)*, 21 (2), 13–25.
- Montesinos López, O. A., Montesinos López, A., Crossa, J. (2022). *Fundamentals of Artificial Neural Networks and Deep Learning*. *Multivariate Statistical Machine Learning Methods for Genomic Prediction*, 379–425. https://doi.org/10.1007/978-3-030-89010-0_10
- Luchia, N. T., Tasia, E., Ramadhani, I., Rahmadeyan, A., Zahra, R. (2024). Performance Comparison Between Artificial Neural Network, Recurrent Neural Network and Long Short-Term Memory for Prediction of Extreme Climate Change. *Public Research Journal of Engineering, Data Technology and Computer Science*, 1 (2), 62–70. <https://doi.org/10.57152/predatecs.v1i2.864>
- 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>
- You, X., Wu, X. (2021). Exponentially Many Local Minima in Quantum Neural Networks. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2110.02479>
- Friedrich, L., Maziero, J. (2022). Avoiding barren plateaus with classical deep neural networks. *Physical Review A*, 106 (4). <https://doi.org/10.1103/physreva.106.042433>
- Santos, C. F. G. D., Papa, J. P. (2022). Avoiding Overfitting: A Survey on Regularization Methods for Convolutional Neural Networks. *ACM Computing Surveys*, 54 (10s), 1–25. <https://doi.org/10.1145/3510413>
- Gaspar, A., Oliva, D., Cuevas, E., Zaldivar, D., Pérez, M., Pajares, G. (2021). Hyperparameter Optimization in a Convolutional Neural Network Using Metaheuristic Algorithms. *Metaheuristics in Machine Learning: Theory and Applications*, 37–59. https://doi.org/10.1007/978-3-030-70542-8_2
- Van Thieu, N., Nguyen, N. H., Sherif, M., El-Shafie, A., Ahmed, A. N. (2024). Integrated metaheuristic algorithms with extreme learning machine models for river streamflow prediction. *Scientific Reports*, 14 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-63908-w>
- Harumy, T., Ginting, D. S. Br. (2021). Neural Network Enhancement Forecast of Dengue Fever Outbreaks in Coastal Region. *Journal of Physics: Conference Series*, 1898 (1), 012027. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1898/1/012027>
- Cong, S., Zhou, Y. (2022). A review of convolutional neural network architectures and their optimizations. *Artificial Intelligence Review*, 56 (3), 1905–1969. <https://doi.org/10.1007/s10462-022-10213-5>
- Abdrolasol, M. G. M., Hussain, S. M. S., Ustun, T. S., Sarker, M. R., Hannan, M. A., Mohamed, R. et al. (2021). Artificial Neural Networks Based Optimization Techniques: A Review. *Electronics*, 10 (21), 2689. <https://doi.org/10.3390/electronics10212689>
- Abd Elaziz, M., Dahou, A., Abualigah, L., Yu, L., Alshinwan, M., Khasawneh, A. M., Lu, S. (2021). Advanced metaheuristic optimization techniques in applications of deep neural networks: a review. *Neural Computing and Applications*, 33 (21), 14079–14099. <https://doi.org/10.1007/s00521-021-05960-5>
- Reyad, M., Sarhan, A. M., Arafa, M. (2023). A modified Adam algorithm for deep neural network optimization. *Neural Computing and Applications*, 35 (23), 17095–17112. <https://doi.org/10.1007/s00521-023-08568-z>
- Awasthi, P., Das, A., Gollapudi, S. (2021). A Convergence Analysis of Gradient Descent on Graph Neural Networks. *Advances in Neural Information Processing Systems 34 (NeurIPS 2021)*.
- Yang, G., Hu, E. J., Babuschkin, I., Sidor, S., Liu, X., Farhi, D. et al. (2022). Tensor Programs V: Tuning Large Neural Networks via Zero-Shot Hyperparameter Transfer. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2203.03466>
- Abdullah, D., Gartsyanova, K., Mansur qizi, K., Javlievich, E. A., Bulturbayevich, M. B., Zokirova, G., Nordin, M. N. (2023). An artificial neural networks approach and hybrid method with wavelet transform to investigate the quality of Tallo River, Indonesia. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 21 (3), 647–656.
- Damian, A., Lee, J. D., Soltanolkotabi, M., Loh, P.-L., Raginsky, M. (2022). Neural Networks can Learn Representations with Gradient Descent. *Proceedings of Thirty Fifth Conference on Learning Theory*.

19. Eker, E., Kayri, M., Ekin, S., İzci, D. (2023). Comparison of Swarm-based Metaheuristic and Gradient Descent-based Algorithms in Artificial Neural Network Training. *ADCAIJ: Advances in Distributed Computing and Artificial Intelligence Journal*, 12 (1), e29969. <https://doi.org/10.14201/adcaij.29969>
20. Khan, M. S., Jabeen, F., Ghouzali, S., Rehman, Z., Naz, S., Abdul, W. (2021). Metaheuristic Algorithms in Optimizing Deep Neural Network Model for Software Effort Estimation. *IEEE Access*, 9, 60309–60327. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3072380>
21. Thieu, N. V., Mirjalili, S., Garg, H., Hoang, N. T. (2025). MetaPerceptron: A standardized framework for metaheuristic-driven multi-layer perceptron optimization. *Computer Standards & Interfaces*, 93, 103977. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2025.103977>
22. Malik, A., Tikhamarine, Y., Souag-Gamane, D., Kisi, O., Pham, Q. B. (2020). Support vector regression optimized by meta-heuristic algorithms for daily streamflow prediction. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 34 (11), 1755–1773. <https://doi.org/10.1007/s00477-020-01874-1>
23. Gharoun, H., Momenifar, F., Chen, F., Gandomi, A. H. (2024). Meta-learning Approaches for Few-Shot Learning: A Survey of Recent Advances. *ACM Computing Surveys*, 56 (12), 1–41. <https://doi.org/10.1145/3659943>
24. Bassey, J., Qian, L., Li, X. (2021). A Survey of Complex-Valued Neural Networks. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2101.12249>
25. Sun, S., Gao, H. (2023). Meta-AdaM: A Meta-Learned Adaptive Optimizer with Momentum for Few-Shot Learning. *37th Conference on Neural Information Processing Systems*.
26. Huda, N., Windiarti, I. S. (2024). Reinforcement learning and meta-learning perspectives frameworks for future medical imaging. *Bulletin of Social Informatics Theory and Application*, 8 (2), 271–279. <https://doi.org/10.31763/businta.v8i2.741>
27. Khoramnejad, F., Hossain, E. (2025). Generative AI for the Optimization of Next-Generation Wireless Networks: Basics, State-of-the-Art, and Open Challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 1–1. <https://doi.org/10.1109/comst.2025.3535554>
28. Kaveh, M., Mesgari, M. S. (2022). Application of Meta-Heuristic Algorithms for Training Neural Networks and Deep Learning Architectures: A Comprehensive Review. *Neural Processing Letters*, 55 (4), 4519–4622. <https://doi.org/10.1007/s11063-022-11055-6>
29. Maitanmi, O. S., Ogunyolu, O. A., Kuyoro, A. O. (2024). Evaluation of Financial Credit Risk Management Models Based on Gradient Descent and Meta-Heuristic Algorithms. *Ingénierie Des Systèmes d'Information*, 29 (4), 1441–1452. <https://doi.org/10.18280/isi.290417>
30. Rohlf, C. (2025). Generalization in neural networks: A broad survey. *Neurocomputing*, 611, 128701. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2024.128701>
31. Harumy, T. H. F., Ginting, D. S. B., Manik, F. Y. (2024). Innovation using hybrid deep neural network detects sensitive ingredients in food products. *Proceedings Of The 6th International Conference On Computing And Applied Informatics 2022*, 2987, 020018. <https://doi.org/10.1063/5.0200199>
32. Li, T., Yan, Z., Chen, Y., Tan, T. (2025). In-Sensor Multisensory Integrative Perception. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5128520>
33. Wang, X., Ptitsyn, G., Asadchy, V. S., Díaz-Rubio, A., Mirmoosa, M. S., Fan, S., Tretyakov, S. A. (2020). Nonreciprocity in Bianisotropic Systems with Uniform Time Modulation. *Physical Review Letters*, 125 (26). <https://doi.org/10.1103/physrevlett.125.266102>
34. Harumy, T. H. F., Ginting, D. S. B., Handrizal, Albana, M. F., Jame-sie, A.B., Patrecella, R. P. (2024). Analysis of potential hazards at the sea with artificial neural network and accident prevention with SOS smart system innovation. *Proceedings Of The 6th International Conference On Computing And Applied Informatics 2022*, 2987, 020037. <https://doi.org/10.1063/5.0200202>

35. Verma, P., Maan, P., Gautam, R., Arora, T. (2024). Unveiling the Role of Artificial Intelligence (AI) in Polycystic Ovary Syndrome (PCOS) Diagnosis: A Comprehensive Review. *Reproductive Sciences*, 31 (10), 2901–2915. <https://doi.org/10.1007/s43032-024-01615-7>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.337049

DEVELOPMENT OF A LOCAL DENSITY OPTIMIZATION APPROACH FOR STRUCTURE IMPROVEMENT AND CLUSTER SEPARATION IN WATER QUALITY DATA (p. 18–30)

Paska Marto Hasugian

Santo Thomas Catholic University,
Kota Medan, Sumatera Utara, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2976-7892>

Pandi Barita Nauli Simangunsong

Santo Thomas Catholic University,
Kota Medan, Sumatera Utara, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5897-177X>

Sardo Pardingotan Sipayung

Santo Thomas Catholic University,
Kota Medan, Sumatera Utara, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0720-6131>

The object of this study is the clustering of water quality data characterized by complex distribution patterns, irregular cluster shapes, and local density variations. The main problem encountered is the limitation of conventional methods such as K-means in achieving optimal cluster separation when the data has uneven distribution, overlap between clusters, and density imbalance. To overcome this, a clustering approach based on local density optimization (LDO) was developed, integrated with principal component analysis (PCA) for dimension reduction and Pasca distance (PaDi) to adjust distance calculations according to local density variations. In this approach, LDO serves to improve data distribution by maintaining global topology and local density consistency before performing cluster formation using the K-means algorithm. Testing on a real water quality dataset shows that the combination of PCA + LDO + PaDi + K-means achieves a Silhouette score of 0.3450, a Davies-Bouldin index of 0.9149, and a Calinski-Harabasz Index of 616.1674, which is superior to both standard K-means and PCA + K-means. This improvement was achieved due to the LDO's ability to reduce density distortion, resulting in more compact clusters, clearer boundaries, and reduced classification errors in transition areas. The proposed approach is characterized by adaptive density-based transformation, sensitivity to local variations through PaDi, and high stability in iterations, ensuring robustness in diverse data conditions. Thus, this approach is relevant for large-scale and real-time water quality monitoring systems and can be extended to other multidimensional datasets in the environmental, industrial, and ecological fields with complex distributions, providing a strong analytical basis for decision-making and policy development.

Keywords: water quality, unsupervised clustering, density transformation, principal component analysis, Pasca distance.

References

1. Wang, Q., Zhu-Tian, C., Wang, Y., Qu, H. (2022). A Survey on MLAVIS: Applying Machine Learning Advances to Data Visualization. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 28 (12), 5134–5153. <https://doi.org/10.1109/tvcg.2021.3106142>
2. Tian, D., Zhao, X., Gao, L., Liang, Z., Yang, Z., Zhang, P. et al. (2024). Estimation of water quality variables based on machine learning model and cluster analysis-based empirical model using multi-source remote sensing data in inland reservoirs, South China. *Environmental Pollution*, 342, 123104. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.123104>

3. Hamed, M. A. R. (2019). Application of Surface Water Quality Classification Models Using Principal Components Analysis and Cluster Analysis. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 07 (06), 26–41. <https://doi.org/10.4236/gep.2019.76003>
4. Jibrin, A. M., Al-Suwaiyan, M., Yaseen, Z. M., Abba, S. I. (2025). New perspective on density-based spatial clustering of applications with noise for groundwater assessment. *Journal of Hydrology*, 661, 133566. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2025.133566>
5. Marín Celestino, A., Martínez Cruz, D., Otazo Sánchez, E., Gavi Reyes, F., Vázquez Soto, D. (2018). Groundwater Quality Assessment: An Improved Approach to K-Means Clustering, Principal Component Analysis and Spatial Analysis: A Case Study. *Water*, 10 (4), 437. <https://doi.org/10.3390/w10040437>
6. Maheshwari, R., Mohanty, S. K., Mishra, A. C. (2023). DCSNE: Density-based Clustering using Graph Shared Neighbors and Entropy. *Pattern Recognition*, 137, 109341. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2023.109341>
7. Yang, Y., Cai, J., Yang, H., Zhao, X. (2022). Density clustering with divergence distance and automatic center selection. *Information Sciences*, 596, 414–438. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2022.03.027>
8. Chowdhury, H. A., Bhattacharyya, D. K., Kalita, J. K. (2021). UIFDBC: Effective density based clustering to find clusters of arbitrary shapes without user input. *Expert Systems with Applications*, 186, 115746. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115746>
9. Zhao, J., Wang, G., Pan, J.-S., Fan, T., Lee, I. (2023). Density peaks clustering algorithm based on fuzzy and weighted shared neighbor for uneven density datasets. *Pattern Recognition*, 139, 109406. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2023.109406>
10. Wang, Y., Qian, J., Hassan, M., Zhang, X., Zhang, T., Yang, C. et al. (2024). Density peak clustering algorithms: A review on the decade 2014–2023. *Expert Systems with Applications*, 238, 121860. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121860>
11. Ding, S., Li, M., Huang, T., Zhu, W. (2024). Local density based on weighted K-nearest neighbors for density peaks clustering. *Knowledge-Based Systems*, 305, 112609. <https://doi.org/10.1016/j.knsys.2024.112609>
12. Yang, H., Wang, W., Cai, J., Wang, J., Li, Y., Xun, Y., Zhao, X. (2025). Three-way clustering based on the graph of local density trend. *International Journal of Approximate Reasoning*, 182, 109422. <https://doi.org/10.1016/j.ijar.2025.109422>
13. Kopczewska, K. (2025). Analysing local spatial density of human activity with quick density clustering (QDC) algorithm. *Computers, Environment and Urban Systems*, 119, 102289. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2025.102289>
14. Gupta, V., Gupta, S. K., Shetty, A. (2024). Fractal-based supervised approach for dimensionality reduction of hyperspectral images. *Computers & Geosciences*, 193, 105733. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2024.105733>
15. Ge, J., Liao, Y., Zhang, B. (2024). Resistance distances and the Moon-type formula of a vertex-weighted complete split graph. *Discrete Applied Mathematics*, 359, 10–15. <https://doi.org/10.1016/j.dam.2024.07.040>
16. Song, J., Daley, T., McNeany, J., Kamaleswaran, R., Stecenko, A. (2024). 682 A machine learning approach with silhouette scoring of continuous glucose monitoring enables repeat measure assessment of changes in the glycemic profile in cystic fibrosis. *Journal of Cystic Fibrosis*, 23, S381–S382. [https://doi.org/10.1016/s1569-1993\(24\)01520-0](https://doi.org/10.1016/s1569-1993(24)01520-0)
17. Ros, F., Riad, R., Guillaume, S. (2023). PDBI: A partitioning Davies-Bouldin index for clustering evaluation. *Neurocomputing*, 528, 178–199. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2023.01.043>
18. Passarella, R., Noor, T. M., Arsalan, O., Adenan, M. S. (2024). Anomaly detection in commercial aircraft landing at SSK II airport using clustering method. *Aerospace Traffic and Safety*, 1 (2-4), 141–154. <https://doi.org/10.1016/j.aets.2024.12.004>
19. Marto Hasugian, P., Mawengkang, H., Sihombing, P., Efendi, S. (2025). Development of distance formulation for high-dimensional data visual-

- ization in multidimensional scaling. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 14 (2), 1178–1189. <https://doi.org/10.11591/eei.v14i2.8738>
20. Zhu, M.-X., Lv, X.-J., Chen, W.-J., Li, C.-N., Shao, Y.-H. (2022). Local density peaks clustering with small size distance matrix. *Procedia Computer Science*, 199, 331–338. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.040>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.340325

HYBRID IMPUTATION OF BIOMEDICAL DATA BY USING TRANSFORMERS AND AUTOENCODERS FOR ASSESSING HUMAN BIOLOGICAL AGE (p. 31–40)

Volodymyr Slipchenko

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3405-0781>

Liubov Poliahushko

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3287-8523>

Oleksandr Volkov

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-6834-8118>

Vladyslav Shatylo

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5395-2097>

This study investigates the process of restoring missing biomedical and social data for human biological age assessment. The principal challenge is the high rate of missing values in datasets, notably NHANES – up to 40%. This complicates accurate health prediction and reduces the effectiveness of preventive interventions.

To address this issue, deep learning methods, specifically autoencoders and transformers, were employed. The autoencoder provided fast imputation (37.4 s, MAE = 7.54) but less accuracy. The transformer achieved the highest accuracy (246.3 s, MAE = 1.10) yet required substantial resources and showed overfitting risks.

A hybrid architecture has been proposed to combine the advantages of both approaches. On the NHANES dataset (55,081 records and 84 biomarkers), the model demonstrated an optimal balance (54.2 s, MAE = 5.26) and stability with up to 50% missing data. Compared to mean-value imputation, the accuracy of biological age estimation improved by 25%. The coefficient of determination reached 0.9875, and root mean squared error was 35.9, confirming strong consistency of the restored values. Sensitivity analysis revealed stable accuracy up to 55% missing data, after which degradation occurred.

A unique feature of the hybrid approach is the combination of high accuracy with moderate computational cost. This makes the model suitable for medical information systems with incomplete datasets. Practical applications include preventive medicine, biological aging monitoring, and risk group identification.

In the Ukrainian context, the model could enhance biomedical research and digital healthcare while also serving as a foundation for bioinformatics and life expectancy studies.

Keywords: data imputation, composite architecture, deep learning, functional age, PhenoAge, NHANES.

References

1. Poliahushko, L., Volkov, O. (2024). Socioeconomic influence on biological age: an overview of current studies and role of artificial intelligence. *Telecommunication and information technologies*, 3 (84), 120–130. <https://doi.org/10.31673/2412-4338.2024.03041234>

2. Lau, D. T., Ahluwalia, N., Fryar, C. D., Kaufman, M., Arispe, I. E., Paulose-Ram, R. (2023). Data Related to Social Determinants of Health Captured in the National Health and Nutrition Examination Survey. *American Journal of Public Health*, 113 (12), 1290–1295. <https://doi.org/10.2105/ajph.2023.307490>
3. Kowsar, I., Rabbani, S. B., Samad, M. D. (2024). Attention-Based Imputation of Missing Values in Electronic Health Records Tabular Data. 2024 IEEE 12th International Conference on Healthcare Informatics (ICHI), 177–182. <https://doi.org/10.1109/ichi61247.2024.00030>
4. Casella, M., Milano, N., Dolce, P., Marocco, D. (2024). Transformers deep learning models for missing data imputation: an application of the ReMasker model on a psychometric scale. *Frontiers in Psychology*, 15. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1449272>
5. Lim, D. K., Rashid, N. U., Oliva, J. B., Ibrahim, J. G. (2024). Unsupervised Imputation of Non-Ignorably Missing Data Using Importance-Weighted Autoencoders. *Statistics in Biopharmaceutical Research*, 17 (2), 222–234. <https://doi.org/10.1080/19466315.2024.2368787>
6. Horvath, S. (2013). DNA methylation age of human tissues and cell types. *Genome Biology*, 14 (10). <https://doi.org/10.1186/gb-2013-14-10-r115>
7. Levine, M. E., Lu, A. T., Quach, A., Chen, B. H., Assimes, T. L., Bandinelli, S. et al. (2018). An epigenetic biomarker of aging for lifespan and healthspan. *Aging*, 10 (4), 573–591. <https://doi.org/10.18632/aging.101414>
8. Aracri, F., Bianco, M. G., Quattrone, A., Sarica, A. (2025). Bridging the Gap: Missing Data Imputation Methods and Their Effect on Dementia Classification Performance. *Brain Sciences*, 15 (6), 639. <https://doi.org/10.3390/brainsci15060639>
9. Altamimi, A., Alarfaj, A. A., Umer, M., Alabdulqader, E. A., Alsubai, S., Kim, T., Ashraf, I. (2024). An automated approach to predict diabetic patients using KNN imputation and effective data mining techniques. *BMC Medical Research Methodology*, 24 (1). <https://doi.org/10.1186/s12874-024-02324-0>
10. Madley-Dowd, P., Curnow, E., Hughes, R. A., Cornish, R. P., Tilling, K., Heron, J. (2024). Analyses using multiple imputation need to consider missing data in auxiliary variables. *American Journal of Epidemiology*, 194 (6), 1756–1763. <https://doi.org/10.1093/aje/kwae306>
11. Beaulieu-Jones, B. K., Moore, J. H. (2017). Missing data imputation in the electronic health record using deeply learned autoencoders. *Biocomputing 2017*, 207–218. https://doi.org/10.1142/9789813207813_0021
12. Gondara, L., Wang, K. (2018). MIDA: Multiple Imputation Using Denoising Autoencoders. *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining*, 260–272. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93040-4_21
13. Li, Y., Rao, S., Solares, J. R. A., Hassaine, A., Ramakrishnan, R., Canoy, D. et al. (2020). BEHRT: Transformer for Electronic Health Records. *Scientific Reports*, 10 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62922-y>
14. Khan, M. A. (2024). A Comparative Study on Imputation Techniques: Introducing a Transformer Model for Robust and Efficient Handling of Missing EEG Amplitude Data. *Bioengineering*, 11 (8), 740. <https://doi.org/10.3390/bioengineering11080740>
15. He, S., Grant, P. E., Ou, Y. (2022). Global-Local Transformer for Brain Age Estimation. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 41 (1), 213–224. <https://doi.org/10.1109/tmi.2021.3108910>
16. Urban, A., Sidorenko, D., Zagirova, D., Kozlova, E., Kalashnikov, A., Pushkov, S. et al. (2023). Precious1GPT: multimodal transformer-based transfer learning for aging clock development and feature importance analysis for aging and age-related disease target discovery. *Aging*. <https://doi.org/10.18632/aging.204788>
17. Wang, X., Chen, H., Zhang, J., Fan, J. (2024). Generative adversarial learning for missing data imputation. *Neural Computing and Applications*, 37 (3), 1403–1416. <https://doi.org/10.1007/s00521-024-10652-x>
18. Hong, S., Lynn, H. S. (2020). Accuracy of random-forest-based imputation of missing data in the presence of non-normality, non-linearity, and interaction. *BMC Medical Research Methodology*, 20 (1). <https://doi.org/10.1186/s12874-020-01080-1>
19. Zhou, Y.-H., Saghapour, E. (2021). ImputEHR: A Visualization Tool of Imputation for the Prediction of Biomedical Data. *Frontiers in Genetics*, 12. <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.691274>
20. Bae, C.-Y., Im, Y., Lee, J., Park, C.-S., Kim, M., Kwon, H. et al. (2021). Comparison of Biological Age Prediction Models Using Clinical Biomarkers Commonly Measured in Clinical Practice Settings: AI Techniques Vs. Traditional Statistical Methods. *Frontiers in Analytical Science*, 1. <https://doi.org/10.3389/frans.2021.709589>
21. United States Department of Health and Human Services. Centers for Disease Control and Prevention. National Center for Health Statistics. National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES), 1999–2000 (2012). Inter-university Consortium for Political and Social Research [distributor]. <https://doi.org/10.3886/icpsr25501.v4>
22. Mack, C., Su, Z., Weistreich, D. (2018). Managing Missing Data in Patient Registries. Agency for Healthcare Research and Quality (AHRQ). <https://doi.org/10.23970/ahrqregistriesmissingdata>
23. Chicco, D., Warrens, M. J., Jurman, G. (2021). The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation. *PeerJ Computer Science*, 7, e623. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.623>
24. da Silva, I. N., Hernane Spatti, D., Andrade Flauzino, R., Liboni, L. H. B., dos Reis Alves, S. F. (2016). Multilayer Perceptron Networks. *Artificial Neural Networks*, 55–115. https://doi.org/10.1007/978-3-319-43162-8_5
25. Jinbo, Z., Yufu, L., Haitao, M. (2025). Handling missing data of using the XGBoost-based multiple imputation by chained equations regression method. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 8. <https://doi.org/10.3389/frai.2025.1553220>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.340387
DEVELOPMENT OF A POLYMODEL RESOURCE
MANAGEMENT COMPLEX FOR INTELLIGENT
DECISION SUPPORT SYSTEMS (p. 41–63)

Andrii Shyshatskyi

Kharkiv National Automobile
and Highway University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6731-6390>

Yurii Zhuravskyi

Zhytomyr Military Institute
named after S. P. Korolev, Zhytomyr, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4234-9732>

Ganna Plekhova

Kharkiv National Automobile
and Highway University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6912-6520>

Igor Shostak

National Aerospace University
"Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3051-0488>

Olena Feoktystova

National Aerospace University
"Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8490-3108>

Oksana Dmytriieva

Kharkiv National Automobile
and Highway University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9314-350X>

Ivan Starynskyi

National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2001-7718>

Andrii Strepetov

Military Unit A2022, Odesa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1146-6561>

Serhii Rudoi

National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-6538-2299>

Anton Zakharov

Military Academy (Odesa), Odesa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2843-6440>

The object of the study is intelligent decision support systems. The problem addressed in the research is to improve the accuracy of modeling the functioning process of intelligent decision support systems.

A polymodel complex for resource management of intelligent decision support systems has been developed. The originality of the study lies in:

- the comprehensive description of the functioning processes of intelligent decision support systems;
- the capability to model both an individual process occurring in intelligent decision support systems and to perform comprehensive modeling of the processes taking place within them;
- the establishment of conceptual dependencies in the functioning process of intelligent decision support systems. This makes it possible to describe the interaction of individual models at all stages of solving computational tasks;
- the description of coordination processes in hybrid intelligent decision support systems, which ensures an increase in the reliability of managerial decision-making;
- the modeling of processes for solving complex computational tasks in intelligent decision support systems through the conceptual description of the specified process;
- the coordination of computational processes in intelligent decision support systems, which leads to a reduction in the number of computational resources of the systems;
- the comprehensive resolution of conflicts through a set of corresponding mathematical models.

The proposed polymodel complex is advisable for use in solving the problem of managing intelligent decision support systems characterized by a high degree of complexity.

Keywords: efficiency, reliability, decision-making, coordination, interaction, computational tasks, artificial intelligence.

References

1. Sova, O., Radzivilov, H., Shyshatskyi, A., Shvets, P., Tkachenko, V., Nevhad, S. et al. (2022). Development of a method to improve the reliability of assessing the condition of the monitoring object in special-purpose information systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (3 (116)), 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254122>
2. Dudnyk, V., Sinenko, Y., Matsyk, M., Demchenko, Y., Zhyvotovskiy, R., Repilo, I. et al. (2020). Development of a method for training artificial neural networks for intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (2 (105)), 37–47. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203301>
3. Sova, O., Shyshatskyi, A., Salnikova, O., Zhuk, O., Trotsko, O., Hrokholskyi, Y. (2021). Development of a method for assessment and forecasting of the radio electronic environment. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 30–40. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001940>
4. Pievtsov, H., Turinskyi, O., Zhyvotovskiy, R., Sova, O., Zvieriev, O., Lanetskii, B., Shyshatskyi, A. (2020). Development of an advanced method of finding solutions for neuro-fuzzy expert systems of analysis of the radioelectronic situation. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 78–89. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001353>
5. Zuiev, P., Zhyvotovskiy, R., Zvieriev, O., Hatsenko, S., Kuprii, V., Nakonechnyi, O. et al. (2020). Development of complex methodology of processing heterogeneous data in intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (106)), 14–23. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208554>
6. Wang, J., Neil, M., Fenton, N. (2020). A Bayesian network approach for cybersecurity risk assessment implementing and extending the FAIR model. *Computers & Security*, 89, 101659. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2019.101659>
7. Matheu-García, S. N., Hernández-Ramos, J. L., Skarmeta, A. F., Baldini, G. (2019). Risk-based automated assessment and testing for the cybersecurity certification and labelling of IoT devices. *Computer Standards & Interfaces*, 62, 64–83. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2018.08.003>
8. Henriques de Gusmão, A. P., Mendonça Silva, M., Poletto, T., Camara e Silva, L., Cabral Seixas Costa, A. P. (2018). Cybersecurity risk analysis model using fault tree analysis and fuzzy decision theory. *International Journal of Information Management*, 43, 248–260. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.08.008>
9. Folorunso, O., Mustapha, O. A. (2015). A fuzzy expert system to Trust-Based Access Control in crowdsourcing environments. *Applied Computing and Informatics*, 11 (2), 116–129. <https://doi.org/10.1016/j.aci.2014.07.001>
10. Mohammad, A. (2020). Development of the concept of electronic government construction in the conditions of synergetic threats. *Technology Audit and Production Reserves*, 3 (2 (53)), 42–46. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.207066>
11. Bodin, L. D., Gordon, L. A., Loeb, M. P., Wang, A. (2018). Cybersecurity insurance and risk-sharing. *Journal of Accounting and Public Policy*, 37 (6), 527–544. <https://doi.org/10.1016/j.jaccpubpol.2018.10.004>
12. Cormier, A., Ng, C. (2020). Integrating cybersecurity in hazard and risk analyses. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 64, 104044. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2020.104044>
13. Hoffmann, R., Napiórkowski, J., Protasowicki, T., Stanik, J. (2020). Risk based approach in scope of cybersecurity threats and requirements. *Procedia Manufacturing*, 44, 655–662. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.243>
14. Perrine, K. A., Levin, M. W., Yahia, C. N., Duell, M., Boyles, S. D. (2019). Implications of traffic signal cybersecurity on potential deliberate traffic disruptions. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 120, 58–70. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.12.009>
15. Promyslov, V. G., Semenov, K. V., Shumov, A. S. (2019). A Clustering Method of Asset Cybersecurity Classification. *IFAC-PapersOnLine*, 52 (13), 928–933. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.313>
16. Zarreh, A., Saygin, C., Wan, H., Lee, Y., Bracho, A. (2018). A game theory based cybersecurity assessment model for advanced manufacturing systems. *Procedia Manufacturing*, 26, 1255–1264. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.07.162>
17. Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies*, 24 (1), 65–75. [https://doi.org/10.1016/s0020-7373\(86\)80040-2](https://doi.org/10.1016/s0020-7373(86)80040-2)
18. Koval, M., Sova, O., Shyshatskyi, A., Artabaiev, Y., Garashchuk, N., Yivzhenko, Y. et al. (2022). Improving the method for increasing the efficiency of decision-making based on bio-inspired algorithms. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (4 (120)), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.268621>
19. Shyshatskyi, A. (Ed.) (2024). *Information and control systems: modelling and optimizations*. Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC, 180. <https://doi.org/10.15587/978-617-8360-04-7>
20. Voznytsia, A., Sharonova, N., Babenko, V., Ostapchuk, V., Neronov, S., Feoktystov, S. et al. (2025). Development of methods for intelligent assessment of parameters in decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (4 (136)), 73–82. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.337528>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.342299

DEVELOPMENT OF A MODEL OF THE USEFUL EFFECT OF THE SYSTEM AT DIFFERENT LEVELS OF SUBSYSTEM INTERCHANGEABILITY IN THE PROBLEM OF OPTIMIZING THE ALLOCATION OF A LIMITED RESOURCE (p. 64–75)

Viktor Shevchenko

Institute of Software Systems
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9457-7454>

Yuriy Syvytsky

Institute of Software Systems
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9947-6653>

Yevhen Derevianko

Institute of Software Systems
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2949-8896>

Oleh Bakaiev

Institute of Software Systems
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-5427-1196>

Olha Korol

National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8733-9984>

Serhii Pohasii

National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4540-3693>

Serhiy Laptiev

State University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7291-1829>

Tetyana Laptieva

National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5223-9078>

Khazail Rzayev

Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9272-4302>

Oleksii Komar

State University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2994-6556>

The object of this study is the process of optimizing the allocation of limited resources among the subsystems of a large complex system. The problem addressed lies in the insufficient adequacy of existing utility models, which fail to account for the degree of subsystem interchangeability and therefore cannot accurately predict optimal resource distribution. The core result is the development of a universal utility model based on logistic dependencies and a flexible scalar convolution constructed using a modified marginal Kolmogorov-Gabor polynomial with the coefficient k_{Add} , which governs interchangeability. Complete trajectories of optimal solutions were obtained for various values of total resources and interchangeability levels. It was found that variations in these parameters alter the optimal effect by 25–35% under conditions of significant resource scarcity. The problem was resolved by combining the universality of logistic models with the flexibility of the new convolution, which generalizes additive, multiplicative, and minimizing forms and enables continuous adjustment of the model to reflect subsystem interaction characteristics. The observed

patterns indicate that at low interchangeability, resources are distributed more evenly, while at high interchangeability, they are concentrated in the most efficient subsystem, significantly enhancing the overall effect under resource deficit conditions. The results are applicable to the design and management of large complex systems – such as IT security, crisis management, and organizational design – where informed decisions are required regarding the allocation of limited resources while considering structural flexibility. This approach is particularly suitable when statistical data are available for calibrating the logistic parameters of subsystems and assessing their interchangeability.

Keywords: scalar convolution, resource optimization, utility effect, optimal solution trajectories, cybersecurity, information systems.

References

1. Bova, Y., Ismahilov, A., Syvachenko, I. (2024). Models and methods of assessing software information security in conditions of limited computing resources. *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, 146 (3), 79–85. <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2024.3.11>
2. Zhebka, V., Tkachenko, O., Zhebka, V. (2020). Factor analysis of the effectiveness of regional production development processes. *International scientific journal "Danish Scientific Journal"*, 35 (4), 17–21. Available at: https://www.danish-journal.com/wp-content/uploads/2024/03/DSJ_35_4.pdf
3. Khmelevskoy, R., Laptiev, S., Laptieva, T. (2021). Improving the Method of Assessing the Information Security of Computer Systems from Malicious Software. *International Journal of Science and Engineering Investigations (IJSEI)*, 10 (113), 43–48. Available at: <https://www.ijsei.com/papers/ijsei-1011321-07.pdf>
4. Bychkov, A. S., Navotna, V., Shevchenko, V. I., Shevchenko, A. V. (2019). Improvement of the Model of Computer Epidemics Based on Expanding the Set of Possible States of the Information Systems Objects. *Journal of Automation and Information Sciences*, 51 (11), 34–49. <https://doi.org/10.1615/jautomatinfscien.v51.i11.40>
5. Bychkov, A. S., Dimitrov, G. P., Shevchenko, V. L., Shevchenko, A. V. (2020). Perfection of Computer Epidemic Model by Estimation of Functional Stability of the Information System. *Journal of Automation and Information Sciences*, 52 (1), 29–40. <https://doi.org/10.1615/jautomatinfscien.v52.i1.40>
6. Shevchenko, V. L., Nesterenko, O. V., Netesin, I. Ye., Shevchenko, A. V. (2019). Prohnostychnye modeliuvannia kompiuternykh virusnykh epidemiy. *Kyiv: UkrNTs RIT*, 152. Available at: <http://e.ieu.edu.ua/handle/123456789/647>
7. Syvytsky, Y., Shevchenko, V. (2024). Computer Simulation Model of the Organization at the Stage of Transformation for the Purpose of Adaptation to New Projects. 14th International Scientific and Practical Conference from Programming UkrPROG'2024, 421–433. Available at: https://ceur-ws.org/Vol-3806/S_61_Shevchenko_Syvytskyi.pdf
8. Sobchuk, V., Laptiev, S., Laptieva, T., Barabash, O., Drobyk, O., Sobchuk, A. (2024). A modified method of spectral analysis of radio signals using the operator approach for the fourier transform. *Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska*, 14 (2), 56–61. <https://doi.org/10.35784/iapgos.5783>
9. Datta, S., Kapoor, R., Mehta, P. (2023). A multi-objective optimization model for outpatient care delivery with service fairness. *Business Process Management Journal*, 29 (3), 630–652. <https://doi.org/10.1108/bpmj-07-2022-0335>
10. Fedushko, S., Molodetska, K., Syerov, Y. (2023). Analytical method to improve the decision-making criteria approach in managing digital social channels. *Heliyon*, 9 (6), e16828. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16828>
11. Yevsieiev, S., Ponomarenko, V., Laptiev, O., Milov, O., Korol, O., Milevskyi, S., Pohasii, S. et al. (2021). Synergy of building cybersecurity

- systems. Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC. <https://doi.org/10.15587/978-617-7319-31-2>
12. Bakaiev, O., Syvachenko, I., Shevchenko, V. (2024). Scalarization of the vector criterion of information system survivability based on information security indicators. *Proceedings of the Cybersecurity Providing in Information and Telecommunication Systems II (CPITS-II 2024)*, 294–300. Available at: <https://ceur-ws.org/Vol-3826/short20.pdf>
 13. Shevchenko, V. L. (2011). *Optymizatsiynе modeliuivannia v stratehichnomu planuvanni*. Kyiv: TsVSD NUOU, 283.
 14. Ivakhnenko, A. G. (1971). Polynomial Theory of Complex Systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-1 (4), 364–378. <https://doi.org/10.1109/tsmc.1971.4308320>
 15. Qian, N., Gao, J., Li, Z., Yan, Z., Feng, Y., Yan, Z., Yang, L. (2024). Bridging the Terrestrial Water Storage Anomalies between the GRACE/GRACE-FO Gap Using BEAST + GMDH Algorithm. *Remote Sensing*, 16 (19), 3693. <https://doi.org/10.3390/rs16193693>
 16. Achite, M., Katipoğlu, O. M., Kartal, V., Sangöl, M., Jehanzaib, M., Gül, E. (2025). Advanced Soft Computing Techniques for Monthly Streamflow Prediction in Seasonal Rivers. *Atmosphere*, 16 (1), 106. <https://doi.org/10.3390/atmos16010106>
 17. Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) – Sixth Edition (2017). Project Management Institute.
 18. A Guide to the Project Management Body of Knowledge PMBOK, 7-th edition (2021). Project Management Institute, Inc., 370. Available at: <https://tegnum.edu.pe/wp-content/uploads/2023/09/Project-Management-Institute-A-Guide-to-the-Project-Management-Body-of-Knowledge-PMBOK-R-Guide-PMBOK%C2%AE%E8%8F-Guide-Project-Management-Institute-2021.pdf>
 19. Antunes, M., Maximiano, M., Gomes, R., Pinto, D. (2021). Information Security and Cybersecurity Management: A Case Study with SMEs in Portugal. *Journal of Cybersecurity and Privacy*, 1 (2), 219–238. <https://doi.org/10.3390/jcp1020012>
 20. Handri, E. Y., Putro, P. A. W., Sensuse, D. I. (2023). Evaluating the People, Process, and Technology Priorities for NIST Cybersecurity Framework Implementation in E-Government. *2023 IEEE International Conference on Cryptography, Informatics, and Cybersecurity (ICoCICs)*, 82–87. <https://doi.org/10.1109/icocics58778.2023.10277024>
 21. Fedorienko, V. (2021). Model of the special software development and modification based on account factors of complexity, workability, qualification of programmers and resource limitations. *Political Science and Security Studies Journal*. Przeworsk, 2 (2), 94–104. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5544382>
 22. Rabchun, D. I. (2015). Otsinka efektyvnosti informatsiynoi bezpeky z urakhuvanniam ekonomichnykh pokaznykiv. *Suchasnyi zakhyst informatsiyi*, 4, 91–96. Available at: <https://journals.dut.edu.ua/index.php/dataprotect/article/view/429/397>
 23. Shevchenko, V., Shevchenko, A., Fedorenko, R., Shmorhun, Y., Hrebennikov, A. (2019). Designing of Functionally Stable Information Systems Optimal for a Minimum of Losses. *2019 IEEE 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/cadsm.2019.8779299>
 24. Sridhar, S. Exhaustive Searching and Combinatorial Optimization Problems. Available at: <https://ebooks.inflibnet.ac.in/csp5/chapter/exhaustive-searching-and-combinatorial-optimization-problems/>
 25. Svynchuk, O., Barabash, O., Nikodem, J., Kochan, R., Laptiev, O. (2021). Image Compression Using Fractal Functions. *Fractal and Fractional*, 5 (2), 31. <https://doi.org/10.3390/fractalfract5020031>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.326955

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ МЕТАПЕРСЕРПТРОН НА ОПТИМІЗАЦІЮ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ: ПОРІВНЯЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ГРАДІЄНТНОГО СПУСКУ ТА МЕТАЕВРИСТИЧНОГО ПІДХОДІВ (с. 6–17)

Darwin, Tengku Henny Febriana Harumy, Syahril Efendi, Carles Juliandy, Binarwan Halim

В цій роботі досліджено застосування фреймворку Metaperceptron як адаптивного механізму оптимізації для навчання нейронних мереж для діагностики синдрому полікістозних яєчників (СПКЯ). Дослідження розглядає постійні проблеми традиційних методів оптимізації, такі як повільна конвергенція, захоплення локальних мінімумів та чутливість до гіперпараметрів, які перешкоджають ефективності та можливостям узагальнення штучних нейронних мереж. Інтегруючи Metaperceptron як з градієнтним спуском (ГС), так і з генетичним алгоритмом (ГА), ця робота демонструє значне покращення швидкості конвергенції та точності діагностики. Зокрема, покращений Metaperceptron ГС скоротив час конвергенції майже на 40%, зберігаючи при цьому високу точність (0,8950 для одношарової нейронної мережі та 0,9100 для багатошарової нейронної мережі). Ці результати були досягнуті завдяки динамічному регулюванню швидкості навчання та метарівневному контролю над стратегіями пошуку, що забезпечує кращий баланс між дослідженням та використанням під час навчання. Результати пояснюються здатністю фреймворку адаптивно реагувати на градієнтні ландшафти та характеристики набору даних, пропонуючи більш стабільний та ефективний процес оптимізації. Практична реалізація запропонованого методу можлива за умов, коли забезпечено якість та репрезентативність даних, зокрема в медичній діагностиці та інших областях, що включають незбалансовані або зашумлені набори даних.

Ключові слова: Metaperceptron, нейронні мережі, градієнтний спуск, метаевристичні алгоритми, оптимізація.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.337049

РОЗРОБКА ПІДХОДУ ДО ОПТИМІЗАЦІЇ ЛОКАЛЬНОЇ ГУСТИНИ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ СТРУКТУРИ ТА РОЗДІЛЕННЯ КЛАСТЕРІВ У ДАНИХ ПРО ЯКІСТЬ ВОДИ (с. 18–30)

Paska Marto Hasugian, Pandi Barita Nauli Simangunsong, Sardo Pardingotan Sipayung

Об'єктом цього дослідження є кластеризація даних про якість води, що характеризуються складними моделями розподілу, неправильними формами кластерів та локальними варіаціями щільності. Основною проблемою, що виникає, є обмеження традиційних методів, таких як К-середніх, у досягненні оптимального розділення кластерів, коли дані мають нерівномірний розподіл, перекриття між кластерами та дисбаланс щільності. Щоб подолати це, було розроблено підхід до кластеризації, заснований на локальній оптимізації щільності (LDO), інтегрований з аналізом головних компонентів (PCA) для зменшення розмірності та відстанню Паска (PaDi) для коригування розрахунків відстані відповідно до локальних варіацій щільності. У цьому підході LDO служить для покращення розподілу даних, підтримуючи глобальну топологію та локальну узгодженість щільності перед виконанням формування кластерів за допомогою алгоритму К-середніх. Тестування на реальному наборі даних про якість води показує, що комбінація PCA + LDO + PaDi + К-середніх досягає показника показник силуету 0,3450, індексу Девіса-Боулдена 0,9149 та індексу Калінського-Харабаша 616,1674, що перевершує як стандартні К-середні, так і PCA + К-середні. Цього покращення було досягнуто завдяки здатності LDO зменшувати спотворення щільності, що призводить до більш компактних кластерів, чіткіших меж та зменшення помилок класифікації в перехідних областях. Запропонований підхід характеризується адаптивним перетворенням на основі щільності, чутливістю до локальних варіацій через PaDi та високою стабільністю в ітераціях, що забезпечує стійкість у різноманітних умовах даних. Таким чином, цей підхід є актуальним для великомасштабних систем моніторингу якості води в режимі реального часу та може бути поширений на інші багатовимірні набори даних у екологічній, промисловій та екологічній сферах зі складними розподілами, забезпечуючи міцну аналітичну основу для прийняття рішень та розробки політики.

Ключові слова: якість води, кластеризація без вчителя, перетворення щільності, аналіз головних компонентів, відстань Паска.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.340325

ГІБРИДНА ІМПУТАЦІЯ БІОМЕДИЧНИХ ДАНИХ НА ОСНОВІ ТРАНСФОРМЕРІВ ТА АВТОЕНКОДЕРІВ ДЛЯ ОЦІНКИ БІОЛОГІЧНОГО ВІКУ ЛЮДИНИ (с. 31–40)

В. Г. Сліпченко, Л. Г. Полягушко, О. В. Волков, В. В. Шатило

Об'єктом дослідження є процес відновлення пропущених біомедичних і соціальних даних для оцінки біологічного віку людини. Проблема полягає у великій кількості пропусків у наборах, зокрема NHANES – до 40%. Це знижує точність прогнозів здоров'я та ефективність профілактики. В дослідженні було використано методи глибинного навчання – автоенкодера та трансформери. Автоенкодер забезпечив швидку імпутацію (37.4 с, MAE = 7.54), але поступився точністю. Трансформер досяг найменшої похибки (246.3 с, MAE = 1.10), однак вимагав значних ресурсів і мав ризик перенавчання. Запропоновано гібридну архітектуру, що поєднує переваги підходів. На наборі NHANES (55081 спостережень, 84 біомаркери) вона показала оптимальний баланс (54.2 с, MAE = 5.26). Модель стабільна при 50% пропущених даних і підвищує точність оцінки біологічного віку на 25% порівняно із заповненням середнім значенням. Переваги пояснюються поєднанням швидкодії автоенкодера та контекстної чутливості трансформера. Показано, що для гібридної моделі $R^2 = 0.9875$, а RMSE = 35.9, що свідчить про високу узгодженість відновлених значень. Аналіз чутливості підтвердив збереження точності при збільшенні частки пропусків до критичного рівня 55%, після якого відбувається деградація моделі. Унікальною рисою гібридного підходу є поєднання високої точності та помірних обчислювальних витрат. Це робить модель придатною для медичних інформаційних систем із неповними даними. Практичне застосування – профілактична медицина, оцінка старіння та виявлення груп ризику. В Україні модель може підвищити ефективність медичних досліджень

та цифрової медицини. Вона також здатна стати основою для майбутніх досліджень у сфері біоінформатики та прогнозування тривалості життя.

Ключові слова: відновлення пропусків, гібридна архітектура, глибинне навчання, функціональний вік, PhenoAge, NHANES.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.340387

РОЗРОБКА ПОЛІМОДЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ (с. 41–63)

А. В. Шишацький, Ю. В. Журавський, Г. А. Плехова, І. В. Шостак, О. І. Феоктистова, О. І. Дмитрієва, І. М. Старинський, А. В. Стрепетов, С. А. Рудой, А. А. Захаров

Об'єктом дослідження є інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень. Проблема, яка вирішується в дослідженні, є підвищення точності моделювання процесу функціонування інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень. Проведено розробку полімодельного комплексу управління ресурсами інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень. Оригінальність дослідження полягає:

- у комплексному описі процесів функціонування інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень;
 - здатності провести моделювання як окремо взятого процесу, що відбувається в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень, так і комплексно проводити моделювання тих процесів, що в них відбуваються;
 - у встановленні концептуальних залежностей процесу функціонування інтелектуальних системи підтримки прийняття рішень. Це дозволяє описати взаємодію окремих моделей на всіх етапах вирішення розрахункових завдань;
 - описі процесів координації у гібридних інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень, чим досягається підвищення достовірності прийняття управлінських рішень;
 - моделюванні процесів вирішення складних розрахункових завдань в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень, за рахунок концептуального опису зазначеного процесу;
 - узгодженні процесів проведення розрахунків в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень, чим досягається зменшення кількості обчислювальних ресурсів систем;
 - комплексному вирішенні спорів, за рахунок комплексу відповідних математичних моделей.
- Запропонований полімодельний комплекс доцільно використовувати для вирішення завдання управління інтелектуальними системами підтримки прийняття рішень, що характеризуються високим ступенем складності.

Ключові слова: оперативність, достовірність, прийняття рішень, координація, взаємодія, розрахункові завдання, штучний інтелект.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.342299

РОЗРОБКА МОДЕЛІ КОРИСНОГО ЕФЕКТУ СИСТЕМИ ПРИ РІЗНИХ РІВНЯХ ВЗАЄМОЗАМІННОСТІ ПІДСИСТЕМ У ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗПОДІЛУ ОБМЕЖЕНОГО РЕСУРСУ (с. 64–75)

В. Л. Шевченко, Ю. І. Сивицький, Є. М. Дерев'янко, О. О. Бакаєв, О. Г. Король, С. С. Погасій, С. О. Лаптев, Т. О. Лаптева, Khazail Rzayev, O. M. Komar

Об'єктом дослідження є процес оптимізації розподілу обмеженого ресурсу між підсистемами великої складної системи.

Проблема, що вирішувалася, – недостатня адекватність існуючих моделей корисного ефекту, які не враховують рівень взаємозамінності підсистем і не дозволяють точно прогнозувати оптимальний розподіл ресурсів.

Суть результатів полягає в розробці універсальної моделі корисного ефекту на основі логістичних залежностей та гнучкої скалярної згортки, побудованої на модифікованому маргінальному поліномі Колмогорова-Габора з коефіцієнтом k_{Add} , що керує взаємозамінністю. Отримано повні траєкторії оптимальних рішень для різних значень сумарного ресурсу та рівня взаємозамінності; встановлено, що їхня варіація змінює оптимальний ефект на 25–35% у зоні суттєвого дефіциту ресурсів.

Результати вирішили проблему завдяки поєднанню універсальності логістичних моделей із гнучкістю нової згортки, яка узагальнює адитивну, мультиплікативну та мінімізуючу форми й дозволяє безперервно налаштовувати модель під специфіку взаємодії підсистем.

Закономірності пояснюються тим, що при низькій взаємозамінності ресурси розподіляються збалансовано, а при високій концентруються в найефективнішій підсистемі, що істотно підвищує загальний ефект у дефіциті.

Результати застосовні при проектуванні та управлінні великими складними системами (ІТ-безпека, кризове управління, організаційне проектування тощо), де потрібні обґрунтовані рішення щодо розподілу обмежених ресурсів з урахуванням структурної гнучкості; застосування доцільне за наявності статистичних даних для калібрування логістичних параметрів підсистем та оцінки їх взаємозамінності.

Ключові слова: скалярна згортка, ресурсна оптимізація, корисний ефект, траєкторії оптимальних рішень, кібербезпека, інформаційні системи.