

- - - - - ABSTRACT AND REFERENCES - - - - -
 INFORMATION AND CONTROLLING SYSTEM

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.298805

APPLICATION OF A DATA STRATIFICATION APPROACH IN (p. 6–16)

Volodymyr Donets

V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5963-9998>

Dmytro Shevchenko

V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7897-250X>

Maksym Holikov

V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4842-7823>

Viktoriia Strilets

V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2475-1496>

Serhiy Shmatkov

V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0298-7174>

The research object is the processes occurring in the data stratification subsystem in the medical monitoring computer system, which is part of the decision support system. Such a subsystem aims to solve data analysis and processing problems in the medical monitoring system. Among them, the problems of anomaly detection, data marking, state determination, selection of the most informative variables, and justification of decision-making are selected for solving.

The paper proposes the structure and implementation of the data stratification subsystem in the decision support system. The subsystem contains modules for anomaly detection and an autoencoder, a clustering module using an advanced multi-agent clustering method, and a state detection module with a modified neural network training procedure.

Modules of the stratification subsystem have been tested using diabetes monitoring data. The results showed that the clustering module provides 25.7 % lower accuracy than the achieved neural network. The accuracy difference is explained by the complexity of the data and the lack of adaptability of the proposed method to solving such problems. It is shown that the method of determining the overall informativeness of variables covers 90 % informativeness with 10 variables, comparable to the variability data. In general, the flexible nature of the proposed stratification subsystem allows for solving the problems.

The proposed stratification subsystem offers a robust solution for improving treatment strategies and decision-making in computer medical monitoring systems. Its versatility allows it to be used in any system where decision support is needed, providing valuable information about informative variables and decision-making features for clinicians and researchers.

Keywords: data stratification, anomaly detection, fuzzy clustering, neural network, sensitivity analysis.

References

1. Logeshwaran, J., Malik, J. A., Adhikari, N., Joshi, S. S., Bishnoi, P. (2022). IoT-TPMS: An innovation development of triangular patient monitoring system using medical internet of things. *International Journal of Health Sciences*, 6 (S5), 9070–9084. <https://doi.org/10.53730/ijhs.v6ns5.10765>

2. Humayun, M., Jhanjhi, N. Z., Almotilag, A., Almufareh, M. F. (2022). Agent-Based Medical Health Monitoring System. *Sensors*, 22 (8), 2820. <https://doi.org/10.3390/s22082820>
3. Yu, M., Li, G., Jiang, D., Jiang, G., Tao, B., Chen, D. (2019). Hand medical monitoring system based on machine learning and optimal EMG feature set. *Personal and Ubiquitous Computing*, 27 (6), 1991–2007. <https://doi.org/10.1007/s00779-019-01285-2>
4. Singh, V. J., Sharma, P., Mehta, D. A. (2023). Big Data Analytics in Healthcare: Opportunities and Challenges. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, 275–282. <https://doi.org/10.48175/ijarsct-9414>
5. Yang, J., Soltan, A. A. S., Yang, Y., Clifton, D. A. (2022). Algorithmic Fairness and Bias Mitigation for Clinical Machine Learning: Insights from Rapid COVID-19 Diagnosis by Adversarial Learning. <https://doi.org/10.1101/2022.01.13.22268948>
6. Ferrario, A., Gloeckler, S., Biller-Andorno, N. (2023). AI knows best? Avoiding the traps of paternalism and other pitfalls of AI-based patient preference prediction. *Journal of Medical Ethics*, 49 (3), 185–186. <https://doi.org/10.1136/jme-2023-108945>
7. Goel, K. (2023). Price Discrimination and Product Variety: The Case of Implantable Medical Devices. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4467475>
8. Tamura, M., Nakano, S., Sugahara, T. (2018). Reimbursement pricing for new medical devices in Japan: Is the evaluation of innovation appropriate? *The International Journal of Health Planning and Management*, 34 (2), 583–593. <https://doi.org/10.1002/hpm.2719>
9. Strilets, V., Donets, V., Ugryumov, M., Artiuch, S., Zelenskyi, R., Goncharova, T. (2022). Agent-oriented data clustering for medical monitoring. *Radioelectronic and Computer Systems*, 1, 103–114. <https://doi.org/10.32620/reks.2022.1.08>
10. Strilets, V., Bakumenko, N., Chernysh, S., Ugryumov, M., Donets, V. (2020). Application of Artificial Neural Networks in the Problems of the Patient's Condition Diagnosis in Medical Monitoring Systems. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 173–185. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37618-5_16
11. Bakumenko, N., Chernysh, S., Bezlyubchenko, A., Goryachaya, V., Donets, V., Strilets, V. et al. (2021). Stratification of Patients in Medical Monitoring Systems based on Machine Learning Methods. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11832.52482>
12. Donets, V., Strilets, V., Ugryumov, M., Shevchenko, D., Prokopovych, S., Chagovets, L. (2023). Methodology of the countries' economic development data analysis. *System research and information technologies*, 4, 21–36. <https://doi.org/10.20535/SRIT.2308-8893.2023.4.02>
13. Lykhach, O., Ugryumov, M., Shevchenko, D., Shmatkov, S. (2022). Anomaly detection methods in sample datasets when managing processes in systems by the state. *Bulletin of V.N. Karazin Kharkiv National University, Series «Mathematical Modeling. Information Technology. Automated Control Systems»*, 53, 21–40. <https://doi.org/10.26565/2304-6201-2022-53-03>
14. Shevchenko, D., Ugryumov, M., Artiukh, S. (2023). Monitoring data aggregation of dynamic systems using information technologies. *International Journal of Health Sciences*, 6 (S5), 9070–9084. <https://doi.org/10.53730/ijhs.v6ns5.10765>

- novative Technologies and Scientific Solutions for Industries, 1 (23), 123–131. <https://doi.org/10.30837/itssi.2023.23.123>
15. Prihanditya, H. A., Alamsyah, A. (2020). The Implementation of Z-Score Normalization and Boosting Techniques to Increase Accuracy of C4.5 Algorithm in Diagnosing Chronic Kidney Disease. *Journal of Soft Computing Exploration*, 1 (1). <https://doi.org/10.52465/josce.v1i1.8>
 16. Liu, F.T., Ting, K.M., Zhou, Z.-H. (2008). Isolation Forest. 2008 Eighth IEEE International Conference on Data Mining. <https://doi.org/10.1109/icdm.2008.17>
 17. Hinton, G. E., Srivastava, N., Krizhevsky, A., Sutskever, I., Salakhutdinov, R. R. (2012). Improving neural networks by preventing co-adaptation of feature detectors. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1207.0580>
 18. Ioffe, S., Szegedy, C. (2015). Batch normalization: Accelerating deep network training by reducing internal covariate shift. *International conference on machine learning*. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1502.03167>
 19. Pal, N. R., Bezdek, J. C. (1995). On cluster validity for the fuzzy c-means model. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 3 (3), 370–379. <https://doi.org/10.1109/91.413225>
 20. Bridle, J. S. (1990). Probabilistic Interpretation of Feedforward Classification Network Outputs, with Relationships to Statistical Pattern Recognition. *Neurocomputing*, 227–236. https://doi.org/10.1007/978-3-642-76153-9_28
 21. Li, S., Song, Z., Xia, Y., Yu, T., Zhou, T. (2023). The Closeness of In-Context Learning and Weight Shifting for Softmax Regression. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.13276>
 22. Zhang, Z., Sabuncu, M.R. (2018). Generalized Cross Entropy Loss for Training Deep Neural Networks with Noisy Labels. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1805.07836>
 23. Qi, Z., Khorram, S., Fuxin, L. (2020). Visualizing Deep Networks by Optimizing with Integrated Gradients. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 34 (07), 11890–11898. <https://doi.org/10.1609/aaai.v34i07.6863>
 24. Enguehard, J. (2023). Sequential Integrated Gradients: a simple but effective method for explaining language models. *Findings of the Association for Computational Linguistics: ACL 2023*. <https://doi.org/10.18653/v1/2023.findings-acl.477>
 25. Lundstrom, D., Huang, T., Razaviyayn, M. (2022). A Rigorous Study of Integrated Gradients Method and Extensions to Internal Neuron Attributions. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2202.11912>
 26. Daher, M., Al Rifai, M., Kherallah, R. Y., Rodriguez, F., Mahtta, D., Michos, E. D. et al. (2021). Gender disparities in difficulty accessing healthcare and cost-related medication non-adherence: The CDC behavioral risk factor surveillance system (BRFSS) survey. *Preventive Medicine*, 153, 106779. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2021.106779>
 27. Iwendi, C., Bashir, A. K., Peshkar, A., Sujatha, R., Chatterjee, J. M., Pasupuleti, S. et al. (2020). COVID-19 Patient Health Prediction Using Boosted Random Forest Algorithm. *Frontiers in Public Health*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00357>
 28. Pereira, J. P. B., Stroes, E. S. G., Zwinderman, A. H., Levin, E. (2022). Covered Information Disentanglement: Model Transparency via Unbiased Permutation Importance. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 36 (7), 7984–7992. <https://doi.org/10.1609/aaai.v36i7.20769>

DOI 10.15587/1729-4061.2024.297849

INCREASING THE RELIABILITY OF DIAGNOSIS OF DIABETIC RETINOPATHY BASED ON MACHINE LEARNING (p. 17–26)

Orken Mamyrbayev

U. Joldasbekov Institute of Mechanics and Engineering, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8318-3794>

Sergii Pavlov

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0051-5560>

Oleksandr Karas

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0756-4696>

Iosif Saldan

National Pirogov Memorial Medical University, Vinnitsia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3925-9197>

Kymbat Momynzhanova

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9981-5706>

Sholpan Zhumagulova

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3696-0021>

This paper discusses the method of measuring and analyzing the parameters of the retina with subsequent diagnosis based on them of pathological changes due to diabetic retinopathy, which is crucial in the field of medicine to help doctors in timely detection and treatment of the disease. The main problem of biomedical image data analysis is insufficient pre-processing of images for further clear determination of informative indicators. This paper explores the application of machine learning and image processing techniques to develop an effective method for the diagnosis of diabetic retinopathy. The main focus is on obtaining the optimal model using machine learning and different types of neural networks. This paper considered and analyzed such methods of image preprocessing as: median filtering, grayscale conversion, cropping of non-informative areas of the image, selection of contours. The classification results of three rules (Classical Neural Networks (CNNs), Deep Neural Networks (DNNs) and Convolutional Neural Networks (CNNs)) were analyzed, and through experimental studies it was determined that the ANN performed the task best (accuracy=87.1 %, reliability=84.6 %, sensitivity=91.6 %, specificity=84 %). An information model was obtained to support decision-making in assessing the condition of the retina using the processing of the obtained microscopic images and further analysis of informative parameters, and a database of more than 35,000 samples and informative features of the retina was formed. Given the sufficient quality of classification and the availability of software and hardware, this method can be developed and applied in practice in medical institutions after conducting all the necessary clinical studies.

Keywords: fundus images, diabetic retinopathy, neural network, image preprocessing, medical image analysis.

References

1. Diabetes. WHO. Available at: https://www.who.int/health-topics/diabetes#tab=tab_1
2. Burton, M. J., Ramke, J., Marques, A. P., Bourne, R. R. A., Congdon, N., Jones, I. et al. (2021). The Lancet Global Health Commission on Global Eye Health: vision beyond 2020. *The Lancet Global Health*, 9 (4), e489–e551. [https://doi.org/10.1016/s2214-109x\(20\)30488-5](https://doi.org/10.1016/s2214-109x(20)30488-5)
3. GBD Results. Institute for Health Metrics and Evaluation. Available at: <https://vizhub.healthdata.org/gbd-results/>
4. Diabetes Now Affects One in 10 Adults Worldwide. International Diabetes Federation. Available at: <https://idf.org/news/diabetes-now-affects-one-in-10-adults-worldwide/>
5. Kropp, M., Golubnitschaja, O., Mazurakova, A., Koklesova, L., Sargheini, N., Vo, T.-T. K. S. et al. (2023). Diabetic retinopathy as the leading cause of blindness and early predictor of cascading complications – risks and mitigation. *EPMA Journal*, 14 (1), 21–42. <https://doi.org/10.1007/s13167-023-00314-8>
6. Bhatwadekar, A. D., Shughoury, A., Belamkar, A., Ciulla, T. A. (2021). Genetics of Diabetic Retinopathy, a Leading Cause of Irreversible Blindness in the Industrialized World. *Genes*, 12 (8), 1200. <https://doi.org/10.3390/genes12081200>
7. Chabba, N., Silwal, P. R., Bascaran, C., McCormick, I., Goodman, L., Gordon, I. et al. (2024). What is the coverage of retina screening services for people with diabetes? Protocol for a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open*, 14 (1), e081123. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2023-081123>
8. Jonas, J. B., Sabanayagam, C. (2019). Epidemiology and Risk Factors for Diabetic Retinopathy. *Diabetic Retinopathy and Cardiovascular Disease*, 20–37. <https://doi.org/10.1159/000486262>
9. Ursin, F., Timmermann, C., Orzechowski, M., Steger, F. (2021). Diagnosing Diabetic Retinopathy With Artificial Intelligence: What Information Should Be Included to Ensure Ethical Informed Consent? *Frontiers in Medicine*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmed.2021.695217>
10. Artificial Neural Networks/Neural Network Basics. Wikibooks. Available at: https://en.wikibooks.org/wiki/Artificial_Neural_Networks/Neural_Network_Basics
11. Diabetic Retinopathy Detection. Kaggle. Available at: <https://www.kaggle.com/c/diabetic-retinopathy-detection/data>
12. Li, T., Gao, Y., Wang, K., Guo, S., Liu, H., Kang, H. (2019). Diagnostic assessment of deep learning algorithms for diabetic retinopathy screening. *Information Sciences*, 501, 511–522. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.06.011>
13. Decencière, E., Zhang, X., Cazuguel, G., Lay, B., Cochener, B., Trone, C. et al. (2014). Feedback on a publicly distributed image database: the messidor database. *Image Analysis & Stereology*, 33 (3), 231. <https://doi.org/10.5566/ias.1155>
14. Li, W., Bian, L., Ma, B., Sun, T., Liu, Y., Sun, Z. et al. (2024). Interpretable Detection of Diabetic Retinopathy, Retinal Vein Occlusion, Age-Related Macular Degeneration, and Other Fundus Conditions. *Diagnostics*, 14 (2), 121. <https://doi.org/10.3390/diagnostics14020121>
15. Kumar, N. S., Balasubramanian, R. K., Phirke, M. R. (2023). Image Transformers for Diabetic Retinopathy Detection from Fundus Datasets. *Revue d'Intelligence Artificielle*, 37 (6), 1617–1627. <https://doi.org/10.18280/ria.370626>
16. Vandana, Laxmi, V. (2023). The Detection and Classification of Diabetic Retinopathy using the Architectures of Deep Learning. *International Journal For Multidisciplinary Research*, 5 (6). <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2023.v05i06.10837>
17. Sanamdikar, S. T., Patil, S. A., Patil, D. O., Borawake, M. P. (2023). Enhanced Detection of Diabetic Retinopathy Using Ensemble Machine Learning: A Comparative Study. *Ingénierie Des Systèmes d'Information*, 28 (6), 1663–1668. <https://doi.org/10.18280/isi.280624>
18. Dai, L., Sheng, B., Chen, T., Wu, Q., Liu, R., Cai, C. et al. (2024). A deep learning system for predicting time to progression of diabetic retinopathy. *Nature Medicine*, 30 (2), 584–594. <https://doi.org/10.1038/s41591-023-02702-z>
19. Zago, G. T., Andreão, R. V., Dorizzi, B., Teatini Salles, E. O. (2020). Diabetic retinopathy detection using red lesion localization and convolutional neural networks. *Computers in Biology and Medicine*, 116, 103537. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2019.103537>
20. Qummar, S., Khan, F. G., Shah, S., Khan, A., Shamsheerband, S., Rehman, Z. U. et al. (2019). A Deep Learning Ensemble Approach for Diabetic Retinopathy Detection. *IEEE Access*, 7, 150530–150539. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2947484>
21. Bakator, M., Radosav, D. (2018). Deep Learning and Medical Diagnosis: A Review of Literature. *Multimodal Technologies and Interaction*, 2 (3), 47. <https://doi.org/10.3390/mti2030047>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.299734

REDUCING THE VOLUME OF COMPUTATIONS WHEN BUILDING ANALOGS OF NEURAL NETWORKS FOR THE FIRST STAGE OF AN ENSEMBLE CLASSIFIER WITH STACKING (p. 27–35)

Oleg Galchonkov

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

Oleksii Baranov

Oracle World Headquarters, Austin, Texas, United States
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5951-2636>

Petr Chervonenko

Odesa Polytechnic National University, Odesa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2982-7349>

Oksana Babilunga

Odesa Polytechnic National University, Odesa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6431-3557>

The object of research in this work is ensemble classifiers with stacking, intended for the classification of objects in images with the presence of small sets of labeled data for training. To improve the quality of classification at the first stage of such a classifier, it is necessary to place more primary classifiers that differ in heterogeneous structured processing. However, the number of known neural networks with appropriate characteristics is limited. One approach to solving this problem is to build analogs of known neural networks that make classification errors on other images compared to the base network. The disadvantage of the known methods for constructing such analogs is the need to perform additional floating-point operations. The current paper proposes and investigates a new method to form analogs through random cyclic shifts of rows or columns of input images. This has made it possible to completely eliminate additional floating-point operations. The effectiveness of using this method is explained by the structured processing of input images in basic neural networks. The use of analogs obtained by the proposed method does not impose additional restrictions in practice. This is

because the heterogeneity of structured processing in basic neural networks is a typical requirement for them in an ensemble classifier with stacking.

The simulation for the CIFAR-10 data set demonstrated that the proposed technique for constructing analogs allows for a comparative quality of classification by the ensemble classifier. Using MLP-Mixer analogs provided an improvement of 4.6 %, and CCT analogs – 5.9 %.

Keywords: multilayer perceptron, neural network, ensemble classifier, weighting coefficients, classification of objects in images.

References

- Yang, J., Shi, R., Wei, D., Liu, Z., Zhao, L., Ke, B. et al. (2023). Med-MNIST v2 - A large-scale lightweight benchmark for 2D and 3D biomedical image classification. *Scientific Data*, 10 (1). <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01721-8>
- Islam, Md. R., Nahiduzzaman, Md., Goni, Md. O. F., Sayeed, A., Anower, Md. S., Ahsan, M., Haider, J. (2022). Explainable Transformer-Based Deep Learning Model for the Detection of Malaria Parasites from Blood Cell Images. *Sensors*, 22 (12), 4358. <https://doi.org/10.3390/s22124358>
- Yang, X., He, X., Zhao, J., Zhang, Y., Zhang, S., Xie, P. (2020). COVID-CT-dataset: A CT scan dataset about COVID-19. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2003.13865>
- Zhang, K., Liu, X., Shen, J., Li, Z., Sang, Y., Wu, X. et al. (2020). Clinically Applicable AI System for Accurate Diagnosis, Quantitative Measurements, and Prognosis of COVID-19 Pneumonia Using Computed Tomography. *Cell*, 182 (5), 1360. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.08.029>
- Dosovitskiy, A., Beyer, L., Kolesnikov, A., Weissenborn, D., Zhai, X., Unterthiner, T. et al. (2020). An Image is Worth 16x16 Words: Transformers for Image Recognition at Scale. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2010.11929>
- Sun, C., Shrivastava, A., Singh, S., Gupta, A. (2017). Revisiting Unreasonable Effectiveness of Data in Deep Learning Era. 2017 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). <https://doi.org/10.1109/iccv.2017.97>
- Aggarwal, C. C., Sathe, S. (2017). *Outlier Ensembles. An Introduction*. Springer International Publishing AG 2017, 276. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-54765-7>
- Galchonkov, O., Babych, M., Zasadko, A., Poberezhnyi, S. (2022). Using a neural network in the second stage of the ensemble classifier to improve the quality of classification of objects in images. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (9 (117)), 15–21. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.258187>
- Galchonkov, O., Baranov, O., Babych, M., Kuvaieva, V., Babych, Y. (2023). Improving the quality of object classification in images by ensemble classifiers with stacking. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (9 (123)), 70–77. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.279372>
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., Hinton, G. E. (2017). ImageNet classification with deep convolutional neural networks. *Communications of the ACM*, 60 (6), 84–90. <https://doi.org/10.1145/3065386>
- He, K., Zhang, X., Ren, S., Sun, J. (2016). Deep Residual Learning for Image Recognition. 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). <https://doi.org/10.1109/cvpr.2016.90>
- Li, K., Wang, Y., Zhang, J., Gao, P., Song, G., Liu, Y. et al. (2023). UniFormer: Unifying Convolution and Self-Attention for Visual Recognition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 45 (10), 1–18. <https://doi.org/10.1109/tpami.2023.3282631>
- Hassani, A., Walton, S., Shah, N., Abuduweili, A., Li, J., Shi, H. (2021). Escaping the Big Data Paradigm with Compact Transformers. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2104.05704>
- Gao, A. K. (2023). More for Less: Compact Convolutional Transformers Enable Robust Medical Image Classification with Limited Data. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2307.00213>
- Guo, M.-H., Liu, Z.-N., Mu, T.-J., Hu, S.-M. (2022). Beyond Self-Attention: External Attention Using Two Linear Layers for Visual Tasks. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 45 (5), 1–13. <https://doi.org/10.1109/tpami.2022.3211006>
- Lee-Thorp, J., Ainslie, J., Eckstein, I., Ontanon, S. (2022). FNet: Mixing Tokens with Fourier Transforms. *Proceedings of the 2022 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies*. <https://doi.org/10.18653/v1/2022.naacl-main.319>
- Liu, Z., Lin, Y., Cao, Y., Hu, H., Wei, Y., Zhang, Z. et al. (2021). Swin Transformer: Hierarchical Vision Transformer using Shifted Windows. 2021 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV). <https://doi.org/10.1109/iccv48922.2021.00986>
- Tolstikhin, I., Houlsby, N., Kolesnikov, A., Beyer, L., Zhai, X., Unterthiner, T. (2021). MLP-Mixer: An all-MLP Architecture for Vision. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2105.01601>
- Liu, H., Dai, Z., So, D. R., Le, Q. V. (2021). Pay Attention to MLPs. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2105.08050>
- Lian, D., Yu, Z., Sun, X., Gao, S. (2021). AS-MLP: An Axial Shifted MLP Architecture for Vision. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2107.08391>
- Wang, Z., Jiang, W., Zhu, Y., Yuan, L., Song, Y., Liu, W. (2022). DynaMixer: A Vision MLP Architecture with Dynamic Mixing. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2201.12083>
- Hu, Z., Yu, T. (2023). Dynamic Spectrum Mixer for Visual Recognition. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2309.06721>
- Lv, T., Bai, C., Wang, C. (2022). MDMLP: Image Classification from Scratch on Small Datasets with MLP. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2205.14477>
- Chen, S., Xie, E., Ge, C., Chen, R., Liang, D., Luo, P. (2023). CycleMLP: A MLP-Like Architecture for Dense Visual Predictions. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 45 (12), 14284–14300. <https://doi.org/10.1109/tpami.2023.3303397>
- Borji, A., Lin, S. (2022). SplitMixer: Fat Trimmed From MLP-like Models. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2207.10255>
- Yu, T., Li, X., Cai, Y., Sun, M., Li, P. (2022). S2-MLP: Spatial-Shift MLP Architecture for Vision. 2022 IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV). <https://doi.org/10.1109/wacv51458.2022.00367>
- The CIFAR-10 dataset. Available at: <https://www.cs.toronto.edu/~kriz/cifar.html>
- Primery izobrazheniy i annotatsiy. Available at: <https://docs.ultralytics.com/ru/datasets/classify/cifar10/#sample-images-and-annotations>
- Brownlee, J. (2019). Better Deep Learning. Available at: <https://machinelearningmastery.com/better-deep-learning/>
- Code examples. Computer vision. Keras. Available at: <https://keras.io/examples/vision/>
- Brownlee, J. (2021). Weight Initialization for Deep Learning Neural Networks. Available at: <https://machinelearningmastery.com/weight-initialization-for-deep-learning-neural-networks/>

32. Colab. Available at: <https://colab.research.google.com/notebooks/welcome.ipynb>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.302495
DEVELOPMENT OF A METHOD FOR SYNTHESIZING AN INFORMATION-ANALYTICAL SYSTEM FOR ASSESSING THE LEVEL OF INFORMATION TRANSMISSION CHANNELS PROTECTION (p. 36–43)

Olexander Shmatko

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
 Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2426-900X>

Serhii Yevseiev

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
 Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1647-6444>

Valerii Dudykevych

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8827-9920>

Stanislav Milevskiy

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
 Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5087-7036>

Svetlana Solnyshkova

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
 Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5115-9148>

Alla Havrylova

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
 Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2015-8927>

Yanina Shestak

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1703-0316>

Serhii Oriekhov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
 Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6816-4720>

Serhii Korsunov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
 Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5370-1375>

Serhii Kravchenko

The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8188-3113>

The object of the study is the process of ensuring security during data transmission through information channels. To ensure high-quality indicators of information transmission channels protection, it is necessary to periodically monitor and, when detected, close possible data leakage channels. The effectiveness of measures to protect transmission channels depends on the quality of checking the presence of possible, valid or hidden, data leakage channels. A significant number of signs of information leakage complicates the control process and leads to additional economic costs for the use of control equipment. Therefore, it is necessary to develop a method of synthesis of an information-analytical system for assessing the level of transmission channels protection. It is proposed to develop such

a method on the basis of determining the dependence between control signs of the presence of information leakage channels. The proposed method allows to ensure the necessary level of security. The basis of the method for synthesis of the information-analytical system for assessing the level of information transmission channels protection is the equation of the associative connection between the control features. The presence of a connection between control signs indicates the presence of information leakage channels. This is due to the loss of characteristics (for example, voltage or signal strength) of the useful information flow due to the redistribution of data during transmission. The benefit from the application of the obtained results depends on the number of discovered and, accordingly, closed channels of information leakage. Implementation of the proposed method allows to automate the process of finding a data leak in transmission channels. The given research results can be useful in the development of software for expert decision-making systems based on the formation of knowledge bases about the relationship between control features. Implementation of the obtained results will increase the reliability and security of information transmission channels.

Keywords: leakage of information, information channel, information and measurement system, information protection, threat model.

References

1. Yevseiev, S., Hryshchuk, R., Molodetska, K., Nazarkevych, M., Hrytsky, V., Milov, O. et al.; Yevseiev, S., Hryshchuk, R., Molodetska, K., Nazarkevych, M. (Eds.) (2022). Modeling of security systems for critical infrastructure facilities. Kharkiv: PC TECHNOLOGY CENTER, 196. <https://doi.org/10.15587/978-617-7319-57-2>
2. Yevseiev, S., Kuznietsov, O., Herasimov, S., Horielyshev, S., Karlov, A., Kovalov, I. et al. (2021). Development of an optimization method for measuring the Doppler frequency of a packet taking into account the fluctuations of the initial phases of its radio pulses. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (9 (110)), 6–15. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.229221>
3. Sokolov, A. Y. (1999). Algebraic approach on fuzzy control. IFAC Proceedings Volumes, 32 (2), 5386–5391. [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)56917-7](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)56917-7)
4. Yevseiev, S., Ponomarenko, V., Laptiev, O., Milov, O., Korol, O., Milevskiy, S. et al.; Yevseiev, S., Ponomarenko, V., Laptiev, O., Milov, O. (Eds.) (2021). Synergy of building cybersecurity systems. Kharkiv: PC TECHNOLOGY CENTER, 188. <https://doi.org/10.15587/978-617-7319-31-2>
5. Shao, R., Ding, C., Liu, L., He, Q., Qu, Y., Yang, J. (2024). High-fidelity multi-channel optical information transmission through scattering media. Optics Express, 32 (2), 2846. <https://doi.org/10.1364/oe.514668>
6. Kumar, P., Saxena, V. (2024). Nested Levels of Hybrid Cryptographical Technique for Secure Information Exchange. Journal of Computer and Communications, 12 (02), 201–210. <https://doi.org/10.4236/jcc.2024.122012>
7. Mikoni, S. V. (2023). Approach to assessing the level of intelligence of an information system. Ontology of Designing, 13 (1), 29–43. <https://doi.org/10.18287/2223-9537-2023-13-1-29-43>
8. Ramsden, J. (2023). The Transmission of Information. Bioinformatics, 75–91. https://doi.org/10.1007/978-3-030-45607-8_7
9. Laue, F., Jamali, V., Schober, R. (2023). RIS-Assisted Device Activity Detection With Statistical Channel State Information. IEEE Trans-

- actions on *Wireless Communications*, 22 (12), 9473–9487. <https://doi.org/10.1109/twc.2023.3271365>
10. Vähä-Savo, Lauri, Veggi, L., Vitucci, E. M., Icheln, C., Degli-Esposti, V., Haneda, K. (2023). Analytical Characterization of a Transmission Loss of an Antenna-Embedded Wall. <https://doi.org/10.36227/techrxiv.170244520.01558910/v1>
 11. Elzinga, R., Janssen, M. J., Wesseling, J., Negro, S. O., Hekkert, M. P. (2023). Assessing mission-specific innovation systems: Towards an analytical framework. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 48, 100745. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2023.100745>
 12. Kramer, G. (2023). Information Rates for Channels with Fading, Side Information and Adaptive Codewords. *Entropy*, 25 (5), 728. <https://doi.org/10.3390/e25050728>
 13. Dos Santos, A., Barros, M. T. C. de, Correia, P. F. (2015). Transmission line protection systems with aided communication channels – Part II: Comparative performance analysis. *Electric Power Systems Research*, 127, 339–346. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2015.05.010>
 14. Enquist, M., Ghirlanda, S., Lind, J. (2023). Acquisition and Transmission of Sequential Information. *The Human Evolutionary Transition*, 167–176. <https://doi.org/10.23943/princeton/9780691240770.003.0012>
 15. Menezes, T. S., Barra, P. H. A., Dizioli, F. A. S., Lacerda, V. A., Fernandes, R. A. S., Coury, D. V. (2023). A Survey on the Application of Phasor Measurement Units to the Protection of Transmission and Smart Distribution Systems. *Electric Power Components and Systems*, 52 (8), 1379–1396. <https://doi.org/10.1080/15325008.2023.2240320>
 16. Ribeiro, E. P. A., Lopes, F. V., Silva, K. M., Martins-Britto, A. G. (2023). Assessment of communication channel effects on time-domain protection functions tripping times. *Electric Power Systems Research*, 223, 109589. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2023.109589>
 17. Shmatko, O., Herasymov, S., Lysetskyi, Y., Yevseiev, S., Sievierinov, O., Voitko, T. et al. (2023). Development of the automated decision-making system synthesis method in the management of information security channels. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (9 (126)), 39–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.293511>
 18. Herasymov, S., Tkachov, A., Bazarnyi, S. (2024). Complex method of determining the location of social network agents in the interests of information operations. *Advanced Information Systems*, 8 (1), 31–36. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2024.1.04>
 19. Gerasimov, S. V., Slupskiy, P. S., Feklistov, A. A., Chuykov, D. V. (2005). Metod opredeleniya koeffitsientov zavisimosti kontroliruemymykh parametrov na osnove atributirovannogo binarnogo dereva. *Systemy obrobky informatsiyi*, 3 (43), 48–55. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi_2005_3_9
 20. 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>
 21. Mookerjee, R., Samuel, J. (2023). Managing the security of information systems with partially observable vulnerability. *Production and Operations Management*, 32 (9), 2902–2920. <https://doi.org/10.1111/poms.14015>
 22. Marabissi, D., Abrardo, A., Mucchi, L. (2023). A new framework for Physical Layer Security in HetNets based on Radio Resource Allocation and Reinforcement Learning. *Mobile Networks and Applications*. <https://doi.org/10.1007/s11036-023-02149-z>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.302502

IMPROVING A METHOD FOR DETECTING STEALTH AERIAL VEHICLES BY USING A NETWORK OF TWO SMALL-SIZED RADARS WITH DECENTRALIZED INFORMATION PROCESSING (p. 44–52)

Hennadii Khudov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3311-2848>

Andrii Zvonko

Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy,
Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7410-799X>

Oleksandr Kostyria

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3363-2015>

Mykola Myroniuk

The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7164-2700>

Dmytro Bashynskiy

State Research Institute of Aviation, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4949-6225>

Yuriy Solomonenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6503-7475>

Artem Irkha

Scientific-Research Institute of Military Intelligence, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9509-8930>

Yevhen Dudar

Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy,
Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3103-8672>

Kostiantyn Snitkov

Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy,
Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0562-7614>

Andrii Polishchuk

Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy,
Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2572-0920>

The object of this study is the process of detecting stealth aerial vehicles by a network of two small-sized radars with decentralized signal processing. The main hypothesis of the study assumed that combining two small-sized radars into a network could improve the quality of detection of stealth aerial vehicles with decentralized signal processing.

The improved method for detecting a stealth aerial vehicle by a network of two small-sized radars with decentralized processing, unlike the known ones, provides for the following:

- each radar emits its own probing signal;
- each radar receives only its own signal;
- coordinated filtering in the reception system of each radar of its signal;
- quadratic detection of its signal in each radar;
- finding the sum of detected signals in each radar at the output of its matched filter;

- preliminary detection of the signal is carried out by each radar separately;
- in each range element, the signal is compared with the threshold level;
- when the threshold level in the range element is exceeded, such range element is assigned a value of one, otherwise – zero;
- the sequence of zeros and ones obtained in this way in each radar of the network is transmitted to the central processing point;
- at the central processing point, a decision is made about the presence or absence of a stealth aerial vehicle in the range element. Such a decision is made based on the results of the combined processing of binary sequences coming from the radars according to the “k out of m” criterion.

It was established that when detecting a stealth aerial vehicle by a network of two small-sized radars, decentralized information processing provides a higher value of the conditional probability of correct detection, by (19–26) % on average.

Keywords: small-sized radar, aerial object detection, decentralized processing, conditional probability of correct detection.

References

1. Sentinel Radar. Available at: <https://www.rtx.com/raytheon/what-we-do/land/sentinel-radar>
2. NASAMS anti-aircraft missile system. Available at: <https://en.missilery.info/missile/nasams>
3. Carafano, J. J. Rapid advancements in military tech. Available at: <https://www.gisreportsonline.com/r/military-technology/>
4. Erl, J. (2022). Sensing digital objects in the air: Ultraleap introduces new technology. Available at: <https://mixed-news.com/en/sensing-digital-objects-in-the-air-ultraleap-introduces-new-technology/>
5. US Sentinel Radar Was Recorded in Ukraine. Available at: https://en.defence-ua.com/weapon_and_tech/us_sentinel_radar_was_recorded_in_ukraine-3357.html
6. Kalibr. Naval Cruise missile family. Available at: <https://www.militarytoday.com/missiles/kalibr.htm>
7. Orlan-10 Uncrewed Aerial Vehicle (UAV). Available at: <https://www.airforce-technology.com/projects/orlan-10-unmanned-aerial-vehicle-uav/#catfish>
8. Bezouwen, J., Brandfass, M. (2017). Technology Trends for Future Radar. Available at: <https://www.microwavejournal.com/articles/29367-technology-trends-for-future-radar>
9. Richards, M. A., Scheer, J. A., Holm, W. A. (Eds.) (2010). Principles of Modern Radar: Basic principles. Institution of Engineering and Technology. <https://doi.org/10.1049/sbra021e>
10. Chernyak, V. (2014). Signal detection with MIMO radars. *Uspehi sovremennoj radioelektroniki*, 7, 35–48.
11. Lishchenko, V., Kalimulin, T., Khizhnyak, I., Khudov, H. (2018). The Method of the organization Coordinated Work for Air Surveillance in MIMO Radar. 2018 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo). <https://doi.org/10.1109/ukrmico43733.2018.9047560>
12. Khudov, H. (2020). The Coherent Signals Processing Method in the Multiradar System of the Same Type Two-coordinate Surveillance Radars with Mechanical Azimuthal Rotation. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8 (6), 2624–2630. <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/66862020>
13. Neyt, X., Raout, J., Kubica, M., Kubica, V., Roques, S., Acheroy, M., Verly, J. G. (2006). Feasibility of STAP for Passive GSM-Based Radar. 2006 IEEE Conference on Radar. <https://doi.org/10.1109/radar.2006.1631853>
14. Multilateration (MLAT) Concept of Use. Edition 1.0 (2007). ICAO Asia and Pacific Office. Available at: https://www.icao.int/APAC/Documents/edocs/mlat_concept.pdf
15. Willis, N. J. (2004). Bistatic Radar. Institution of Engineering and Technology. <https://doi.org/10.1049/sbra003e>
16. Lishchenko, V., Khudov, H., Tiutiunnyk, V., Kuprii, V., Zots, F., Misiyuk, G. (2019). The Method of Increasing the Detection Range of Unmanned Aerial Vehicles In Multiradar Systems Based on Surveillance Radars. 2019 IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). <https://doi.org/10.1109/elnano.2019.8783263>
17. Ruban, I., Khudov, H., Lishchenko, V., Pukhovyi, O., Popov, S., Kolos, R. et al. (2020). Assessing the detection zones of radar stations with the additional use of radiation from external sources. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (9 (108)), 6–17. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.216118>
18. LORAN-C. Available at: <https://skybrary.aero/articles/loran-c>
19. Rohjani, N., Shaker, G. (2024). Comprehensive Review: Effectiveness of MIMO and Beamforming Technologies in Detecting Low RCS UAVs. *Remote Sensing*, 16 (6), 1016. <https://doi.org/10.3390/rs16061016>
20. Kalkan, Y. (2024). 20 Years of MIMO Radar. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 39 (3), 28–35. <https://doi.org/10.1109/maes.2023.3349228>
21. Neven, W. H., Quilter, T. J., Weedon, R., Hogendoorn, R. A. (2005). Wide Area Multilateration Wide Area Multilateration. Report on EATMP TRS 131/04. Version 1.1. NLR. Available at: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-05/surveillance-report-wide-area-multilateration-200508.pdf>
22. Mantilla-Gaviria, I. A., Leonardi, M., Balbastre-Tejedor, J. V., de los Reyes, E. (2013). On the application of singular value decomposition and Tikhonov regularization to ill-posed problems in hyperbolic passive location. *Mathematical and Computer Modelling*, 57 (7-8), 1999–2008. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2012.03.004>
23. Schau, H., Robinson, A. (1987). Passive source localization employing intersecting spherical surfaces from time-of-arrival differences. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 35 (8), 1223–1225. <https://doi.org/10.1109/tassp.1987.1165266>
24. Ryu, H., Wee, I., Kim, T., Shim, D. H. (2020). Heterogeneous sensor fusion based omnidirectional object detection. 2020 20th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS). <https://doi.org/10.23919/iccas50221.2020.9268431>
25. Salman, S., Mir, J., Farooq, M. T., Malik, A. N., Haleemdeen, R. (2021). Machine Learning Inspired Efficient Audio Drone Detection using Acoustic Features. 2021 International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technologies (IBCAST). <https://doi.org/10.1109/ibcast51254.2021.9393232>
26. Liu, Y., Yi, J., Wan, X., Cheng, F., Rao, Y., Gong, Z. (2018). Experimental Research on Micro-Doppler Effect of Multi-rotor Drone with Digital Television Based Passive Radar. *Journal of Radars*, 7 (5), 585–592. <https://doi.org/10.12000/JR18062>
27. Wang, W. (2016). Overview of frequency diverse array in radar and navigation applications. *IET Radar, Sonar & Navigation*, 10 (6), 1001–1012. <https://doi.org/10.1049/iet-rsn.2015.0464>
28. Li, J., Stoica, P. (Eds.) (2008). MIMO Radar Signal Processing. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470391488>

29. Li, Y. (2021). MIMO Radar Waveform Design: An Overview. *Journal of Beijing Institute of Technology*, 30 (1), 44–59. <https://doi.org/10.15918/j.jbit1004-0579.2021.002>
30. Oleksenko, O., Khudov, H., Petrenko, K., Horobets, Y., Kolianda, V., Kuchuk, N. et al. (2021). The Development of the Method of Radar Observation System Construction of the Airspace on the Basis of Genetic Algorithm. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 11 (8), 23–30. https://doi.org/10.46338/ijetae0821_04
31. Khudov, H., Bereznyi, A., Yarosh, S., Oleksenko, O., Khomik, M., Yuzova, I. et al. (2023). Improving a method for detecting and measuring coordinates of a stealth aerial vehicle by a network of two small-sized radars. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (9 (126)), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.293276>
32. Khudov, H., Yarosh, S., Kostyria, O., Oleksenko, O., Khomik, M., Zvonko, A. et al. (2024). Improving a method for non-coherent processing of signals by a network of two small-sized radars for detecting a stealth unmanned aerial vehicle. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (9 (127)), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298598>
33. Chang, L. ZALA Lancet. Loitering munition. Available at: <https://www.militarytoday.com/aircraft/lancet.htm>
34. Shin, S.-J. (2017). Radar measurement accuracy associated with target RCS fluctuation. *Electronics Letters*, 53 (11), 750–752. <https://doi.org/10.1049/el.2017.0901>
35. Kishk, A., Chen, X. (Eds.) (2023). *MIMO Communications - Fundamental Theory, Propagation Channels, and Antenna Systems*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.110927>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.302499

**IMPROVING THE SYSTEMS FOR CONTROLLING
GROUND-BASED SUN ORIENTATION DEVICES
(p. 53–62)**

Valentyn Ivanytsky

Uzhhorod National University, Uzhgorod, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6234-1861>

Roman Meshko

Uzhhorod National University, Uzhgorod, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8691-1213>

Igor Chychura

Uzhhorod National University, Uzhgorod, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1680-9317>

Myhajlo Rjaboschuk

Uzhhorod National University, Uzhgorod, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7139-3618>

Serhii Tiutiunnykov

Uzhhorod National University, Uzhgorod, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4781-5453>

The control system for terrestrial two-axis devices for orientation to the Sun has been improved with a high-speed microcontroller operation algorithm. A geomagnetic sensor was introduced into the system to increase the reliability of monitoring the positioning of solar cells. The basis of the algorithm is a simplified astronomical and geographical model of the movement of the Sun in the celestial sphere. The control system automatically tracks the trajectory of the Sun and calculates its angular coordinates for the current moment

of time on any day of the year and for any point on the globe. The derived equations of the simplified mathematical model are suitable for calculations of orientation angles to the Sun in real time on 8-bit microcontrollers with low computing power. The control system by AVR-328 microcontrollers was studied. It was established that the use of the algorithm when programming microcontrollers for two-axis orientation systems ensures high stability and reliability of the tracker's functioning process. The technical parameters of the AVR-328 microcontrollers in the case of using the developed algorithm ensure that the control system performs one reorientation step in a time interval of less than 2 seconds, which ensures the minimum technical period of the reorientation process by the tracker drive mechanisms which is about 5 seconds. Deviations of the calculated orientation angle from the exact value do not exceed 3°, which corresponds to the relative accuracy of recording the solar radiation intensity, which is less than 0.3 %. The microcontroller program written according to the developed simplified algorithm occupies about 35 % of its memory. Therefore, the use of the developed algorithm frees up the resources of AVR-328 microcontrollers for performing additional data processing operations and automatic control over various additional devices related to the process of orientation to the Sun. In the case of solar energy, the algorithm ensures the use of about 98 % of the power of solar radiation.

Keywords: astronomical-geographic model of solar orientation, automatic ground trackers, microcontroller program algorithm.

References

1. Seong, J. C. (2015). Sun position calculator (SPC) for Landsat imagery with geodetic latitudes. *Computers & Geosciences*, 85, 68–74. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2015.09.011>
2. Karttunen, H., Kröger, P., Oja, H., Poutanen, M., Donner, K. J. (Eds.) (2017). *Fundamental Astronomy*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-53045-0>
3. Ivanytsky, V. P., Ryaboschuk, M. M., Stoika, M. V., Tiutiunnykov, S. V. (2021). Astronomical and geographical model for programming microcontrollers of ground-based trackers. *Science and Education a New Dimension*, IX (255) (32), 11–13. <https://doi.org/10.31174/send-nt2021-255ix32-02>
4. Saedi, M., Effatnejad, R. (2021). A New Design of Dual-Axis Solar Tracking System With LDR Sensors by Using the Wheatstone Bridge Circuit. *IEEE Sensors Journal*, 21 (13), 14915–14922. <https://doi.org/10.1109/jsen.2021.3072876>
5. Amadi, H. N., Gutierrez, S. (2019). Design and Performance Evaluation of a Dual-Axis Solar Tracking System for Rural Applications. *European Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 3 (1). <https://doi.org/10.24018/ejece.2019.3.1.52>
6. Singh, R., Kumar, S., Gehlot, A., Pachauri, R. (2018). An imperative role of sun trackers in photovoltaic technology: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 3263–3278. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.018>
7. Saymbetov, A. K., Nurgaliyev, M. K., Tulkibaiuly, Ye., Toshmurudov, Yo. K., Nalibayev, Ye. D., Dosymbetova, G. B. et al. (2018). Method for Increasing the Efficiency of a Biaxial Solar Tracker with Exact Solar Orientation. *Applied Solar Energy*, 54 (2), 126–130. <https://doi.org/10.3103/s0003701x18020111>
8. AL-Rousan, N., Isa, N. A. M., Desa, M. K. M. (2018). Advances in solar photovoltaic tracking systems: A review. *Renewable and Sus-*

- tainable Energy Reviews, 82, 2548–2569. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.077>
9. The tracking system of the sun ST1500. Available at: <https://greenchip.com.ua/26-0-196-2.html>
 10. Mpodi, E. K., Tjiparuro, Z., Matsebe, O. (2019). Review of dual axis solar tracking and development of its functional model. *Procedia Manufacturing*, 35, 580–588. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.05.082>
 11. Hoffmann, F. M., Molz, R. F., Kothe, J. V., Nara, E. O. B., Tedesco, L. P. C. (2018). Monthly profile analysis based on a two-axis solar tracker proposal for photovoltaic panels. *Renewable Energy*, 115, 750–759. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.08.079>
 12. Robles, C. A., Castro, A. O., Naranjo, J. C. (2017). Dual-axis solar tracker for using in photovoltaic systems. *International Journal of Renewable Energy Research*, 7 (1), 137–145. doi: <https://doi.org/10.20508/ijrer.v7i1.5147.g6973>
 13. Sidek, M. H. M., Azis, N., Hasan, W. Z. W., Ab Kadir, M. Z. A., Shafie, S., Radzi, M. A. M. (2017). Automated positioning dual-axis solar tracking system with precision elevation and azimuth angle control. *Energy*, 124, 160–170. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.02.001>
 14. Zhu, Y., Liu, J., Yang, X. (2020). Design and performance analysis of a solar tracking system with a novel single-axis tracking structure to maximize energy collection. *Applied Energy*, 264, 114647. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114647>
 15. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. (2017). World Meteorological Organization. Geneva. <https://doi.org/10.25607/OBP-432>
 16. Mazidi, M., Naimi, Sa., Naimi, Se. (2014). *The AVR microcontroller and embedded systems: using Assembly and C*. Boston: Pearson. Available at: https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781292054339_A24572125/preview-9781292054339_A24572125.pdf
 17. Software. Available at: <https://www.arduino.cc/en/software>

АНОТАЦІЇ
INFORMATION AND CONTROLLING SYSTEM

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.298805

ЗАСТОСУВАННЯ ПІДХОДУ СТРАТИФІКАЦІЇ ДАНИХ У КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ МЕДИЧНОГО МОНІТОРИНГУ (с. 6–16)

В. В. Донець, Д. О. Шевченко, М. С. Голіков, В. Є. Стрілець, С. І. Шматков

Об'єктом дослідження є процеси, що протікають в підсистемі стратифікації даних в комп'ютерній системі медичного моніторингу, що є частиною системи підтримки прийняття рішень. Така підсистема направлена на вирішення задач аналізу й обробки даних в системі медичного моніторингу. Серед них виділені для вирішування проблеми виявлення аномалій, розмітки даних, визначення стану, відбір найбільш інформативних змінних та обґрунтування прийняття рішень.

У роботі запропоновано структуру та реалізацію підсистеми стратифікації даних в системі підтримки прийняття рішень. Підсистема містить модуль для детектування аномалій та автокодувальник, модуль кластеризації, що використовує удосконалений метод мультиагентної кластеризації, та модуль визначення стану із модифікованою процедурою навчання нейромережі.

Модулі підсистеми стратифікації протестовані на даних моніторингу за захворюванням діабет. Отримані результати показали, що модуль кластеризації надає на 25,7 % меншу точність порівняно з досягнутою нейромережею. Це пояснюється складністю даних та неадаптованістю запропонованого методу до вирішення таких задач. Показано, що метод визначення загальної інформативності змінних покриває 90 % інформативності із 10 змінними, що співставно з даними варіативності. В цілому гнучка природа запропонованої підсистеми стратифікації дозволяє вирішити поставлені проблеми.

Запропонована підсистема стратифікації пропонує надійне рішення для покращення стратегій лікування та прийняття рішень у комп'ютерних системах медичного моніторингу. Її універсальність дозволяє використовувати її в будь-яких системах, де потрібна підтримка прийняття рішень, надаючи цінну інформацію про інформативні змінні та особливості прийняття рішень для клініцистів і дослідників.

Ключові слова: стратифікація даних, виявлення аномалій, нечітка кластеризація, нейронна мережа, аналіз чутливості.

DOI 10.15587/1729-4061.2024.297849

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ДІАГНОСТИКИ ДІАБЕТИЧНОЇ РЕТИНОПАТІЇ НА ОСНОВІ МАШИННОГО НАВЧАННЯ (с. 17–26)

Orken Mamyrbayev, Sergii Pavlov, Oleksandr Karas, Iosif Saldan, Kymbat Momynzhanova, Sholpan Zhumagulova

У роботі розглядається метод вимірювання та аналізу параметрів сітківки з подальшою на їх основі діагностикою патологічних змін при діабетичній ретинопатії, що має вирішальне значення в галузі медицини для надання допомоги лікарям у своєчасному виявленні та лікуванні захворювання. Основною проблемою аналізу даних біомедичних зображень є недостатня попередня обробка зображень для подальшого чіткого визначення інформативних показників. У роботі вивчається застосування методів машинного навчання та обробки зображень для розробки ефективного методу діагностики діабетичної ретинопатії. Основна увага приділяється отриманню оптимальної моделі з використанням машинного навчання та різних типів нейронних мереж. У роботі розглянуто та проаналізовано такі методи попередньої обробки зображень, як: медіанна фільтрація, перетворення у відтінки сірого, обрізання неінформативних ділянок зображення, виділення контурів. Проаналізовано результати класифікації за трьома правилами (класичні нейронні мережі (CNN), глибокі нейронні мережі (DNN) та згорткові нейронні мережі (CNN)), і за допомогою експериментальних досліджень було визначено, що ANN найкраще справляється із завданням (точність=87,1 %, надійність=84,6 %, чутливість=91,6 %, специфічність=84 %). Отримана інформаційна модель для підтримки прийняття рішень при оцінюванні стану сітківки з використанням обробки отриманих мікроскопічних зображень та подальшого аналізу інформативних параметрів, а також сформована база даних з більш ніж 35 000 зразків та інформативних ознак сітківки. За достатньої якості класифікації та наявності програмно-технічних засобів даний метод може бути розроблений і застосований на практиці в медичних установах після проведення всіх необхідних клінічних досліджень.

Ключові слова: зображення очного дна, діабетична ретинопатія, нейронна мережа, попередня обробка зображень, аналіз медичних зображень.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.299734

ЗМЕНШЕННЯ ОБСЯГУ ОБЧИСЛЕНЬ ПРИ ПОБУДУВАННІ АНАЛОГІВ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ПЕРШОГО СТУПЕНЯ АНСАМБЛЮВАННЯ КЛАСИФІКАТОРА ЗІ СТЕКІНГОМ (с. 27–35)

О. М. Галчонков, О. М. Баранов, П. П. Червоненко, О. Ю. Бабілуна

Об'єктом досліджень у цій роботі є ансамблеві класифікатори зі стекінгом, призначені для класифікації об'єктів на зображеннях за наявності невеликих наборів маркованих даних для навчання. Для підвищення якості класифікації на першому ступені такого

класифікатора необхідно розміщувати більше первинних класифікаторів, які відрізняються різномірною структурованою обробкою. Однак відомих нейронних мереж з відповідними характеристиками обмежена кількість. Одним із підходів вирішення цієї проблеми є побудова аналогів відомих нейронних мереж, які роблять помилки класифікації на інших зображеннях, порівняно з базовою мережею. Недоліком відомих методів побудови таких аналогів є необхідність виконання додаткових операцій із плаваючою комою. У роботі запропоновано та досліджено новий метод формування аналогів за рахунок випадкових циклічних зрушень рядків або стовпців вхідних зображень. Це дозволило повністю виключити додаткові операції з плаваючою комою. Ефективність використання цього методу пояснюється структурованістю обробки вхідних зображень у базових нейронних мережах. Використання аналогів, отриманих запропонованим методом, не накладає додаткових обмежень на практиці. Це пояснюється тим, що різномірність структурованої обробки в базових нейронних мережах є типовим вимогом до них в ансамблевому класифікаторі зі стекінгом.

Проведене моделювання для набору даних CIFAR-10 показало, що запропонований спосіб побудови аналогів забезпечує порівняльну якість класифікації ансамблевим класифікатором. Використання аналогів MLP-Mixer забезпечило покращення на 4,6 %, а аналогів SST – на 5,9 %.

Ключові слова: багатосаровий перцептрон, нейронна мережа, ансамблевий класифікатор, вагові коефіцієнти, класифікація об'єктів на зображеннях.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.302495

РОЗРОБКА МЕТОДУ СИНТЕЗУ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ЗАХИСТУ КАНАЛІВ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ (с. 36–43)

О. В. Шматко, С. П. Євсєєв, В. Б. Дудикевич, С. В. Мілевський, С. Г. Солнишкова, А. А. Гаврилова, Я. В. Шестак, С. В. Орехов, С. І. Корсунов, С. О. Кравченко

Об'єктом дослідження є процес забезпечення безпеки під час передачі даних інформаційними каналами. Для забезпечення високих якісних показників захисту каналів передачі інформації необхідно періодично контролювати та при виявленні закривати канали можливого витоку даних. Ефективність проведення заходів із захисту каналів передачі залежить від якості перевірки наявності можливих, чинних чи прихованих, каналів витоку даних. Значна кількість ознак наявності витоку інформації ускладнює процес контролю та призводить до додаткових економічних витрат на використання апаратури контролю. Тому необхідно розробити метод синтезу інформаційно-аналітичної системи оцінювання рівня захисту каналів передачі. Такий метод пропонується розробити на основі визначення залежності між контрольними ознаками наявності каналів витоку інформації. Запропонований метод дозволяє забезпечити необхідний рівень безпеки. Основою методу синтезу інформаційно-аналітичної системи оцінювання рівня захисту каналів передачі інформації є рівняння асоціативного зв'язку між контрольними ознаками. Наявність зв'язку між контрольними ознаками свідчить про наявність каналів витоку інформації. Це обумовлено втраченою характеристикою (наприклад, напруги або потужності сигналу) корисного інформаційного потоку за рахунок перерозподілу даних при передачі. Виграш від застосування отриманих результатів залежить від кількості виявлених і, відповідно, закритих каналів витоку інформації. Реалізація запропонованого методу дозволяє автоматизувати процес пошуку витоку даних каналах передачі. Наведені результати дослідження можуть бути корисними при розробці програмного забезпечення для експертних систем прийняття рішень на основі формування баз знань про зв'язок між контрольними ознаками. Впровадження отриманих результатів дозволить підвищити надійність і захищеність каналів передачі інформації.

Ключові слова: витік інформації, інформаційний канал, інформаційно-вимірвальна система, захист інформації, модель загроз.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.302502

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ВИЯВЛЕННЯ МАЛОПОМІТНИХ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ МЕРЕЖЕЮ ДВОХ МАЛОГАБАРИТНИХ РАДАРІВ ПРИ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНІЙ ОБРОБЦІ ІНФОРМАЦІЇ (с. 44–52)

Г. В. Худов, А. А. Звонко, О. О. Костира, М. Ю. Миронюк, Д. В. Башинський, Ю. С. Соломоненко, А. В. Ірха, Є. Є. Дудар, К. І. Снітков, А. М. Поліщук

Об'єктом дослідження є процес виявлення малопомітних повітряних об'єктів мережею двох малогабаритних радарів з децентралізованою обробкою сигналів. Основна гіпотеза дослідження полягала в тому, що об'єднання двох малогабаритних радарів у мережу дозволить підвищити якість виявлення малопомітних повітряних об'єктів з децентралізованою обробкою сигналів.

Удосконалений метод виявлення малопомітного повітряного об'єкту мережею двох малогабаритних радарів при децентралізованій обробці, на відміну від відомих, передбачає:

- кожен радар випромінює свій зондувальний сигнал;
- кожен радар приймає тільки свій сигнал;
- узгоджена фільтрація в приймальній системі кожного радару свого сигналу;
- квадратичне детектування в кожному радарі свого сигналу;
- знаходження суми продетектованих сигналів в кожному радарі на виході свого узгодженого фільтру;
- попереднє виявлення сигналу проводиться кожним радаром окремо;
- в кожному елементі дальності проводиться порівняння сигналу з пороговим рівнем;

– при перевищенні порогового рівня в елементі дальності, такому елементу дальності присвоюється значення одиниці, в протилежному випадку – нуль;

– послідовність отриманих таким чином нулів та одиниць в кожному радару мережі передається до центрального пункту обробки;

– в центральному пункту обробки приймається рішення про наявність або відсутність малопомітного повітряного об'єкта у елементі дальності. Таке рішення приймається за результатами сумісної обробки двійкових послідовностей, що поступають від радарів, по критерію «k з m».

Встановлено, що при виявленні малопомітного повітряного об'єкта мережею двох малогабаритних радарів при децентралізованій обробці інформації забезпечується вище значення умовної імовірності правильного виявлення в середньому на (19–26) %.

Ключові слова: малогабаритний радар, виявлення повітряного об'єкта, децентралізована обробка, умовна імовірність правильного виявлення.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.302499

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ НАЗЕМНИМИ ПРИСТРОЯМИ ОРІЄНТАЦІЇ НА СОНЦЕ (с. 53–62)

В. П. Іваницький, Р. О. Мешко, І. І. Чичура, М. М. Рябошук, С. В. Тютюнников

Удосконалено систему керування наземними двовісними пристроями орієнтації на Сонце із швидкодіючим алгоритмом роботи мікроконтролерів. У систему введено геомагнітний датчик для підвищення надійності контролю за позиціонування сонячних елементів. У основу алгоритму покладено спрощену астрономічно-географічну модель руху Сонця по небесній сфері. Система керування автоматично відслідковує траєкторію руху Сонця та розраховує його кутові координати для текучого моменту часу в будь-який день року і для будь-якої точки земної кулі. Отримані рівняння спрощеної математичної моделі придатні для розрахунків кутові орієнтації на Сонце в реальному часі на 8-ми бітних мікроконтролерах з низькою обчислювальною потужністю. Дослідження системи керування на мікроконтролері AVR-328 показали, що її використання для двовісних системах орієнтації забезпечує високу стабільність та надійність процесу функціонування трекерів. Технічні параметри мікроконтролерів AVR-328 у випадку застосування створеного алгоритму забезпечують виконання системою керування одного кроку переорієнтації за проміжок часу, менший 2 с. Це забезпечує мінімальний технічний період процесу переорієнтації механізмами трекера біля 5 с. Відхилення розрахованого кута орієнтації від точного значення не перевищують 3°, що відповідає відносній похибці реєстрації інтенсивності сонячного випромінювання, меншій 0,3 %. Написана за спрощеним алгоритмом програма мікроконтролера займає біля 65 % його пам'яті. Тому використання алгоритму вивільняє ресурси мікроконтролерів AVR-328 для виконання додаткових операцій з обробки даних та автоматичного керування різними додатковими пристроями, пов'язаними із процесом орієнтації на Сонце. У випадку сонячної енергетики алгоритм забезпечує використання біля 98 % потужності сонячного випромінювання.

Ключові слова: астрономічно-географічна модель сонячної орієнтації, автоматичні наземні трекери, алгоритм орієнтації на Сонце.