

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.365021

IMPROVED METHOD FOR DETECTING A LOW-ALTITUDE, LOW-SPEED AERIAL OBJECT IN THE PRESENCE OF GROUND CLUTTER USING A SYNCHRONOUS MULTI-RADAR SYSTEM (p. 6–15)**Hennadii Khudov**Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3311-2848>**Andrii Lukianchykov**Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3584-7901>**Vladyslav Tiutiunnyk**Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7766-3246>**Volodymyr Komarov**

Research Institute of Military Intelligence, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2873-8261>**Oleh Salnyk**Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2688-1198>**Denys Kotov**

Military Academy, Odesa, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6775-5593>**Volodymyr Maliuha**State Scientific Research Institute of Armament and
Military Equipment Testing and Certification, Cherkasy, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6227-1269>**Roman Prystynskyi**National Academy of the National Guard of Ukraine,
Kharkiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0871-2608>**Valerii Vlasiuk**

Kyiv Institute of the National Guard of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2140-3250>**Serhii Popov**

National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7410-1267>

This study considers the process of detecting a low-altitude, low-speed air object in the presence of ground clutter. The principal hypothesis assumes that improving the method could make it possible to increase the signal/noise ratio.

A method has been improved for detecting a low-altitude, low-speed air object in the presence of ground clutter using a synchronous multi-radar system, which, in contrast to known ones, allows for the following:

- a synchronous survey of the airspace in azimuth and range by two radars by emitting mutually orthogonal probing signals;
- forming signals reflected from the air object at the output of the radar receivers;
- incoherent, joint signal processing in a synchronous multi-radar system from two survey radars;
- coordinated filtering of received signals;

- formation of Doppler channels;
- equalization by delay time and Doppler frequency;
- formation of an additive processing channel where incoherent summation of signals is carried out and formation of air object detection marks in the additive channel;
- formation of a multiplicative processing channel where multiplication of signals is carried out and formation of air object detection marks of the multiplicative channel;
- combination of air object detection marks of the additive and multiplicative channels and formation of final detection marks.

An experimental study was conducted on the detection of a low-altitude, low-speed air object. The use of a synchronous multiradar system made it possible to increase the signal/noise ratio by 4 times. Additional multiplicative signal processing provides an increase in the signal/noise ratio and improves the discrimination of the signal from the air object in the presence of ground clutter.

Keywords: low-altitude, low-speed object, ground clutter, synchronous multiradar system, signal/noise ratio.

References

1. Besada, J. A., Campaña, I., Carramiñana, D., Bergesio, L., de Miguel, G. (2021). Review and Simulation of Counter-UAS Sensors for Unmanned Traffic Management. *Sensors*, 22 (1), 189. <https://doi.org/10.3390/s22010189>
2. Zhang, M., Ouyang, Y., Yang, M., Guo, J., Li, Y. (2025). ORPSD: Outer Rectangular Projection-Based Representation for Oriented Ship Detection in SAR Images. *Remote Sensing*, 17 (9), 1511. <https://doi.org/10.3390/rs17091511>
3. Ruban, I., Khudov, H., Biernik, Y., Makoveichuk, O., Maliuha, V., Yarovy, S. et al. (2025). Improving a method for determining the coordinates of a reconnaissance unmanned aerial vehicle by a small-based network of two software-defined radio receivers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (137)), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.341735>
4. Semenyuk, V., Kurmashev, I., Lupidi, A., Alyoshin, D., Kurmasheva, L., Cantelli-Forti, A. (2025). Advances in UAV detection: integrating multi-sensor systems and AI for enhanced accuracy and efficiency. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 49, 100744. <https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2025.100744>
5. Hoffmann, F., Ritchie, M., Fioranelli, F., Charlish, A., Griffiths, H. (2016). Micro-Doppler based detection and tracking of UAVs with multistatic radar. 2016 IEEE Radar Conference (RadarConf), 1–6. <https://doi.org/10.1109/radar.2016.7485236>
6. Alhaji Musa, S., Raja Abdullah, R. S. A., Sali, A., Ismail, A., Abdul Rashid, N. E. (2019). Low-Slow-Small (LSS) Target Detection Based on Micro Doppler Analysis in Forward Scattering Radar Geometry. *Sensors*, 19 (15), 3332. <https://doi.org/10.3390/s19153332>
7. Fan, S., Wu, Z., Xu, W., Zhu, J., Tu, G. (2023). Micro-Doppler Signature Detection and Recognition of UAVs Based on OMP Algorithm. *Sensors*, 23 (18), 7922. <https://doi.org/10.3390/s23187922>
8. Wu, Z., Wang, W., Peng, Y. (2022). Deep learning-based UAV detection in the low altitude clutter background. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2202.12053>
9. Zhang, R., Xue, J., Zhang, T. (2025). Reliable Clutter Suppression for Slow-Moving Weak Target Radar Detection. 2025 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops), 354–359. <https://doi.org/10.1109/iccworkshops67674.2025.11162253>
10. Melvin, W. L., Scheer, J. (Eds.) (2012). Principles of Modern Radar: Advanced techniques. Institution of Engineering and Technology. <https://doi.org/10.1049/sbra020e>

11. Melvin, W. L., Scheer, J. A. (Eds.) (2014). Principles of modern radar. Volume III, Radar applications. Raleigh: SciTech Publishing, 821. <https://doi.org/10.1049/SBRA503E>
12. 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), 1–4. <https://doi.org/10.1109/ukrmico43733.2018.9047560>
13. 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>
14. Barabash, O., Kyrianov, A. (2023). Development of control laws of unmanned aerial vehicles for performing group flight at the straight-line horizontal flight stage. Advanced Information Systems, 7 (4), 13–20. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2023.4.02>
15. 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>
16. Wang, D., Wang, T., Cui, W., Zhang, X. (2023). A novel gridless space-time adaptive processing method based cyclic minimization. Digital Signal Processing, 140, 104142. <https://doi.org/10.1016/j.dsp.2023.104142>
17. Babu, J., K S, A., N. Halarnkar, V., Panchal, H., Chouhan, L., Chaudhary, N. K., Munjal, S. (2025). Micro-Doppler Signature Analysis for Uav Detection: A Review on Advanced Techniques and Challenges. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5246346>
18. Khudov, H., Hryzo, A., Oleksenko, O., Repilo, I., Lisohorskyi, B., Poliakov, A. et al. (2025). Devising a method for determining the coordinates of an air object by a network of two SDR receivers. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (9 (133)), 62–68. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.323336>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.365354

DEVISING A COMBINED SPECTRUM SPREADING METHOD FOR TIMER SIGNAL STRUCTURES TO IMPROVE COVERT INFORMATION TRANSMISSION (p. 16–25)

Vadym Stepanov

Military Academy (Odesa), Odesa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0851-4220>

Volodymyr Korchynskyi

State University of Intelligent Technologies and Telecommunications, Odesa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3972-0585>

Vitalii Kildishev

State University of Intelligent Technologies and Telecommunications, Odesa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7121-4060>

Ruslan Zarovskiy

State University of Intelligent Technologies and Telecommunications, Odesa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5598-1879>

Serhii Havel

State University of Intelligent Technologies and Telecommunications, Odesa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0484-5620>

Vasyl Slavych

ValueTek, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8446-4061>

Ruslan Petrovskiy

Lyceum “Fontansky” of the Fontanska Village Council of Odesa District, Fontanka vil., Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4605-9908>

This study investigates the process that forms noise-like timer signal structures with combined spectrum spreading in secure radio communication systems. The work addressed the scientific and technical problem related to the lack of methods for forming noise-like signal structures that provide comprehensive use of the advantages of timer coding, direct spectrum spreading, as well as pseudo-random tuning of the operating frequency, in order to improve covert structure and noise immunity of information transmission.

The results include a combined method devised for spectrum spreading of non-positional timer signals based on a combination of direct spectrum spreading and pseudo-random tuning of the operating frequency. The method provides spectrum spreading in the time and frequency domains, as well as the generation of multidimensional signal structures by varying the time intervals between pulses, using pseudo-random sequences, and tuning of the operating frequencies.

An analytical approach to assessing covert structuring of a combined signal has been proposed, taking into account the parameters of timer coding, manipulation, and spectrum spreading. It was established that even with relatively small values of the signal parameters, a high level of structural covertness was achieved, which significantly complicated its reproduction by means of electronic reconnaissance.

The results are attributed to the combination of timer coding with spread spectrum methods, which ensured the generation of time, code, and frequency uncertainty of the signal. Changing the timer coding parameters made it possible to adapt signal structures depending on the level of interference in the communication channel. The proposed method could be implemented when designing promising secure radio communication systems under conditions of random and intentional interference.

Keywords: timer signals, spread spectrum, covert structuring, pseudo-random reconfiguration of operating frequency.

References

1. Zaitsev, D. V., Yafonkin, A. O., Yarema, V. V. (2021). Osnovy zviazku ta radioelektronna borotba yak vyd boiovoho zabezpechennia. Irpin, 280. Available at: <https://ir.dpu.edu.ua/entities/publication/931c8879-4752-4096-a76d-6ab33b3b95e7/full>
2. Sholokhov, S. M., Samborskyi, I. I., Vakulenko, O. V., Nikolaienko, B. A. (2021). Zavadozakhyst radioelektronnykh zasobiv. Chastyna 1. Osnovy zavadozakhystu system zviazku. Kyiv: ISZZI KPI im. Ihoria Sikorskoho, 210. Available at: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/63622>
3. Horbatyi, I., Usatyi, O. (2025). Investigation of spread spectrum signal analysis methods in modern communication systems. Information and Communication Technologies, Electronic Engineering, 5 (1), 125–135. <https://doi.org/10.23939/ictee2025.01.125>
4. Stasev, Y., Netrenko, K., Khmelnicenko, K. (2022). Method of synthesis of signals with pseudorandom tuning of the operating frequency. Information Processing Systems, 3 (170), 52–57. <https://doi.org/10.30748/soi.2022.170.07>
5. Hrynenko, O., Kalchenko, V., Obodyak, V., Pugach, I., Savchenko, T. (2025). Adaptive pseudo-random reconfiguration of the operating frequency with information-extreme control for protected unmanned networks. COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION, 60, 112–119. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2025-60-11>
6. Zaharchenko, M., Hadzhyiev, M., Salmanov, N., Shvets, N., Havel, S. (2021). Analysis and evaluation of qualitative and quantitative indicators of information when solving problems of construction systems of data transmission and transformation. Cybersecurity: Education,

Oleksii Bychkov

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9378-9535>

- Science, Technique, 3 (11), 136–143. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2021.11.136143>
7. Maleki, A., Nguyen, H. H., Bedeer, E., Barton, R. (2024). A Tutorial on Chirp Spread Spectrum Modulation for LoRaWAN: Basics and Key Advances. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 5, 4578–4612. <https://doi.org/10.1109/ojcoms.2024.3433502>
 8. Hordiichuk, V., Shyshatskyi, A., Korchinskyi, V., Kildishev, V., Pozdniakov, P. (2021). Timing pulse code modulation as a tool for quantization noise reduction in special-purpose IT systems. *Journal of Physics: Conference Series*, 1839 (1), 12005. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1839/1/012005>
 9. Burkinsky, B. V., Nazarenko, O., Laiko, O. I., Khadzhyradieva, S. (Eds.) (2024). Sustainable development and digital innovations. Odesa. <https://doi.org/10.31520/978-617-14-0253-9>
 10. Tian, X., Han, H., Niu, X., Liu, X. (2023). Construction of Optimal Frequency Hopping Sequence Set with Low-Hit-Zone. *Entropy*, 25 (7), 1044. <https://doi.org/10.3390/e25071044>
 11. Hordiichuk, V., Korchinskyi, V., Kildishev, V., Molodetskyi, B., Stai-kutsa, S., Alfaioni, K. (2024). Adaptive Synthesis of Wideband Timer Signals in the Conditions of Radio-Electronic Warfare. 2024 IEEE 17th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), 1–4. <https://doi.org/10.1109/tcset64720.2024.10755658>
 12. Azim, A. W., Shubair, R., Chafii, M. (2024). Chirp Spread Spectrum-Based Waveform Design and Detection Mechanisms for LPWAN-Based IoT: A Survey. *IEEE Access*, 12, 24949–25017. <https://doi.org/10.1109/access.2024.3352591>
 13. Zakharchenko, M. V., Horokhov, Y. S., Kril, A. S., Kovalchuk, S. V. (2015). Code division multiplexing in timer signals. *Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence*, 24 (3), 38–42. Available at: <https://sit.nuou.org.ua/article/view/61290/>
 14. Zaharchenko, M., Hadzhyiev, M., Salmanov, N., Golev, D., Shvets, N. (2020). Information parameters of codes that are synthesized on the basis of one module. *Cybersecurity: Education, Science, Technique*, 3 (7), 95–102. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2020.7.95102>
 15. Zakharchenko, N., Korchinsky, V., Radzimovsky, B. (2012). Information security of time-controlled signals in confidential communication systems. *Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science: XI Int. Conf. TCSET. Lviv-Slavske*. Lviv: Publishing House of Lviv Polytechnic, 317. Available at: <https://ena.lpnu.ua/handle/ntb/14569>
 16. Ristić, V., Todorović, B., Stojanović, N. (2022). Frequency hopping spread spectrum: History, principles and applications. *Vojnotehnicki Glasnik*, 70 (4), 856–876. <https://doi.org/10.5937/vojtehg70-38342>
 17. Kaplan, B., Kahraman, I., Ekti, A. R., Yarkan, S., Gorcin, A., Ozdemir, M. K., Cirpan, H. A. (2021). Detection, Identification, and Direction of Arrival Estimation of Drone FHSS Signals With Uniform Linear Antenna Array. *IEEE Access*, 9, 152057–152069. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3127199>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.363911

DETERMINING THE IMPACT OF ADVERSARIAL CYBERATTACKS ON THE PERFORMANCE OF A COMPREHENSIVE BIOMETRIC IDENTIFICATION METHOD BASED ON LOCAL-TEXTURE DESCRIPTORS (p. 26–37)

Yelyzaveta Zhabska

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9917-3723>

Kateryna Merkulova

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6347-5191>

The object of study is a comprehensive biometric identification method based on local-texture descriptors HOG and 1DLBP. The task addressed is to determine the impact of adversarial cyberattacks on the accuracy of biometric identification by facial image.

The results under the predefined research conditions were evaluated in terms of the comprehensive method's efficiency, robustness, and stability. Experiments were conducted on six datasets covering controlled and uncontrolled shooting conditions, using a unified set of metrics. The impact was determined in scenarios of full visibility of facial features and in the presence of local occlusive disturbances characteristic of adversarial attacks.

The efficiency retention coefficient of the comprehensive method when used under controlled shooting conditions is 86.84–92.86% with a sensitivity index of 7.14–13.16%; the decrease in accuracy is statistically insignificant for most image sets. Compared with DNNs whose accuracy degradation under the influence of adversarial attacks reaches 26.45–76%, the comprehensive method's identification accuracy decreases by 1.5%. Such results are due to the features of the algorithmic formation of attribute vectors by descriptors and the comprehensive method's absence of sensitivity to perturbations calculated on the properties of DNN methods.

The HOG and 1DLBP descriptors compute the gradient and texture characteristics of local image regions based on deterministic algorithms without using training parameters and the error backpropagation mechanism. As a result, adversarial perturbations optimized for hierarchical nonlinear representations of DNNs have a limited impact on the feature space formed by descriptors. By conducting a study on face images acquired under variable conditions, the limits of the solution's applicability were determined.

The suitability of the comprehensive method for practical application in cybersecurity complexes, in particular in video surveillance, access control, and checkpoint systems, has been established.

Keywords: biometric identification, facial recognition, image processing, software, cyber threats, adversarial attacks, local texture descriptors, HOG, 1DLBP, occlusive perturbations.

References

1. Martsenyuk, V., Bychkov, O., Merkulova, K., Zhabska, Y. (2023). Exploring Image Unified Space for Improving Information Technology for Person Identification. *IEEE Access*, 11, 76347–76358. <https://doi.org/10.1109/access.2023.3297488>
2. Facial Recognition Market Overview and Future Outlook (No. FBI101061) (2026). *Fortune Business Insights*. Available at: <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/facial-recognition-market-101061>
3. Leyva, R., Gregory, E., Maple, C. (2025). Attack Vectors for Face Recognition Systems: A Comprehensive Review. *ACM Computing Surveys*, 58 (1), 1–37. <https://doi.org/10.1145/3736753>
4. Wang, M., Zhou, J., Li, T., Meng, G., Chen, K. (2026). A survey on physical adversarial attacks against face recognition systems. *Neurocomputing*, 669, 132485. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2025.132485>
5. Zolfi, A., Avidan, S., Elovici, Y., Shabtai, A. (2023). Adversarial Mask: Real-World Universal Adversarial Attack on Face Recognition Models. *Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases*, 304–320. https://doi.org/10.1007/978-3-031-26409-2_19
6. Liu, X., Shen, F., Zhao, J., Nie, C. (2024). EAP: An effective black-box impersonation adversarial patch attack method on face recognition in the physical world. *Neurocomputing*, 580, 127517. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2024.127517>
7. Ma, T. (2025). Research on The Security of Face Recognition Systems Based on Digital and Physical Counterattacks. *ITM Web of Conferences*, 78, 2003. <https://doi.org/10.1051/itmconf/20257802003>

8. Hwang, R.-H., Lin, J.-Y., Hsieh, S.-Y., Lin, H.-Y., Lin, C.-L. (2023). Adversarial Patch Attacks on Deep-Learning-Based Face Recognition Systems Using Generative Adversarial Networks. *Sensors*, 23 (2), 853. <https://doi.org/10.3390/s23020853>
9. Guesmi, A., Hanif, M. A., Ouni, B., Shafique, M. (2023). Physical Adversarial Attacks for Camera-Based Smart Systems: Current Trends, Categorization, Applications, Research Challenges, and Future Outlook. *IEEE Access*, 11, 109617–109668. <https://doi.org/10.1109/access.2023.3321118>
10. Zheng, X., Fan, Y., Wu, B., Zhang, Y., Wang, J., Pan, S. (2023). Robust Physical-World Attacks on Face Recognition. *Pattern Recognition*, 133, 109009. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2022.109009>
11. Birgisdóttir, E. L., Kunkel, M. I., Pleva, L., Papaioannou, M., Choudhary, G., Dragoni, N. (2025). Exploring the Security of Mobile Face Recognition: Attacks, Defenses, and Future Directions. *Applied Sciences*, 15 (24), 13232. <https://doi.org/10.3390/app152413232>
12. Abidi, S. M. H., Hassan, S. A., Raza, S. M., Beliatas, M. J. (2026). Advances in Face Recognition: A Comprehensive Review of Feature Extraction and Dataset Evaluation. *Electronics*, 15 (2), 338. <https://doi.org/10.3390/electronics15020338>
13. Bychkov, O., Merkulova, K., Zhabska, Y. (2020). Information Technology of Person's Identification by Photo Portrait. 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), 786–790. <https://doi.org/10.1109/tcset49122.2020.235542>
14. Perona, P., Malik, J. (1990). Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 12 (7), 629–639. <https://doi.org/10.1109/34.56205>
15. Obaida, T. H., Jamil, A. S., Hassan, N. F. (2022). Real-time face detection in digital video-based on Viola-Jones supported by convolutional neural networks. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 12 (3), 3083. <https://doi.org/10.11591/ijece.v12i3.pp3083-3091>
16. Xia, R., Cheng, Y., Tang, Y., Liu, X., Liu, X., Wang, L., Jiang, P. (2025). S-Diff: An Anisotropic Diffusion Model for Collaborative Filtering in Spectral Domain. *Proceedings of the Eighteenth ACM International Conference on Web Search and Data Mining*, 70–78. <https://doi.org/10.1145/3701551.3703490>
17. Merkulova, K., Zhabska, Y. (2023). Input Data Requirements for Person Identification Information Technology. *Proceedings of the 1st International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023)*, 3468, 24–37. Available at: <https://ceur-ws.org/Vol-3468/paper3.pdf>
18. Wang, H., Jing, J., Li, N., Zhang, W. (2023). Multiscale and Multidirectional Gabor Filters for Image Corner Detection. 2023 9th International Conference on Mechanical and Electronics Engineering (ICMEE), 396–405. <https://doi.org/10.1109/icmee59781.2023.10525496>
19. Dalal, N., Triggs, B. (2005). Histograms of Oriented Gradients for Human Detection. 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05), 1, 886–893. <https://doi.org/10.1109/cvpr.2005.177>
20. Legarda, D., Pérez, K., Muñoz, D. M. (2025). A comparative hardware implementation of histogram of oriented gradients as a descriptor in embedded tracking of swarm robots. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 198, 105026. <https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2024.105026>
21. Benzaoui, A., Boukrouche, A., Doghmane, H., Bourouba, H. (2015). Face recognition using 1DLBP, DWT and SVM. 2015 3rd International Conference on Control, Engineering & Information Technology (CEIT), 1–6. <https://doi.org/10.1109/ceit.2015.7233002>
22. The Database of Faces. Available at: <https://cam-orkl.co.uk/facedatabase.html>
23. Face Recognition Technology (FERET). Available at: <https://www.nist.gov/programs-projects/face-recognition-technology-feret>
24. Grgic, M., Delac, K., Grgic, S. (2009). SCface – surveillance cameras face database. *Multimedia Tools and Applications*, 51 (3), 863–879. <https://doi.org/10.1007/s11042-009-0417-2>
25. Moschoglou, S., Papaioannou, A., Sagonas, C., Deng, J., Kotsia, I., Zafeiriou, S. (2017). AgeDB: The First Manually Collected, In-the-Wild Age Database. 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), 1997–2005. <https://doi.org/10.1109/cvprw.2017.250>
26. Sengupta, S., Chen, J.-C., Castillo, C., Patel, V. M., Chellappa, R., Jacobs, D. W. (2016). Frontal to profile face verification in the wild. 2016 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV), 1–9. <https://doi.org/10.1109/wacv.2016.7477558>
27. Huang, G. B., Ramesh, M., Berg, T., Learned-Mille, E. (2007). Labeled Faces in the Wild: A Database for Studying Face Recognition in Unconstrained Environments. University of Massachusetts. Available at: <https://people.cs.umass.edu/~elm/papers/lfw.pdf>
28. Chethana, H. T., Nagavi, T. C., Mahesha, P., Ravi, V., Al Mazroa, A. (2025). Face Recognition in Unconstrained Images Using Deep Learning Model for Forensics. *Security and Privacy*, 8 (2). <https://doi.org/10.1002/spy2.70012>
29. Vu, H. N., Nguyen, M. H., Pham, C. (2021). Masked face recognition with convolutional neural networks and local binary patterns. *Applied Intelligence*, 52 (5), 5497–5512. <https://doi.org/10.1007/s10489-021-02728-1>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.360606

IMPROVING THE ACCURACY OF PERFUSION MAP GENERATION USING DYNAMIC SUSCEPTIBILITY CONTRAST MAGNETIC RESONANCE IMAGING DATA BASED ON RECURRENT NEURAL NETWORKS (p. 38–48)

Oleksii Diumin

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0196-005X>

Svitlana Alkhimova

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9749-7388>

This study explores the process of generating perfusion parameter maps from time series of DSC-MRI images of the brain. The task addressed relates to the inaccuracy and inefficiency of perfusion map generation due to insufficient analysis of temporal features, dependence on the arterial inflow function, as well as excessive computational complexity of the models.

This paper proposes an approach to generating perfusion parameter maps using neural networks that directly process time series of perfusion images. Three deep learning architectures have been designed and experimentally investigated, differing in the way in which temporal information is taken into account and the presence of recurrent layers. The evaluation was performed on an open medical data set with patient-level sample distribution to prevent information leakage between the training and test parts.

A controlled comparison of models with and without recurrent layers was performed to determine the impact of explicitly taking into account temporal dependences on the accuracy of map generation. The normalized root mean square error decreased from 0.027 to 0.016 and 0.015. The structural similarity index increased from 0.826 to 0.957 and 0.973. The peak signal-to-noise ratio increased from 31.493 to 36.095 and 36.412.

Additional comparison to approaches reported in other studies showed that the proposed architecture with recurrent layers demonstrates competitive or higher values of image quality metrics. The results confirm the feasibility of using neural networks with recurrent layers for more accurate generation of perfusion parameter maps.

The practical significance is the possibility of integrating the approach into automated perfusion analysis systems and clinical decision support in the diagnosis of stroke and brain tumors.

Keywords: perfusion parameters, perfusion with dynamic susceptibility contrast, magnetic resonance imaging.

References

- Feigin, V. L., Stark, B. A., Johnson, C. O., Roth, G. A., Bisignano, C., Abady, G. G. et al. (2021). Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet Neurology*, 20 (10), 795–820. [https://doi.org/10.1016/s1474-4422\(21\)00252-0](https://doi.org/10.1016/s1474-4422(21)00252-0)
- O'Connor, J. P. B., Tofts, P. S., Miles, K. A., Parkes, L. M., Thompson, G., Jackson, A. (2011). Dynamic contrast-enhanced imaging techniques: CT and MRI. *The British Journal of Radiology*, 84, S112–S120. <https://doi.org/10.1259/bjr/55166688>
- Alkhimova, S., Sorokina, V., Kabala, I. (2026). Comparative assessment of commonly used color lookup tables to determine key performance indicators for perfusion map data visualization. *Technology Audit and Production Reserves*, 1 (2 (87)), 85–92. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2026.352787>
- Diumin, O. D., Alkhimova, S. M. (2024). Generation of perfusion map images using deep learning methods. *Nauka i tehnika sohodni*, 11 (39), 849–866. [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-10\(38\)-849-866](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-10(38)-849-866)
- Alkhimova, S. M., Diumin, O. D. (2024). Issues of automated perfusion analysis based on dynamic susceptibility contrast MRI. *Nauka i tehnika sohodni*, 8 (36), 859–875. [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-8\(36\)-859-875](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-8(36)-859-875)
- Østergaard, L., Weisskoff, R. M., Chesler, D. A., Gyldensted, C., Rosen, B. R. (1996). High resolution measurement of cerebral blood flow using intravascular tracer bolus passages. Part I: Mathematical approach and statistical analysis. *Magnetic Resonance in Medicine*, 36 (5), 715–725. <https://doi.org/10.1002/mrm.1910360510>
- Wu, O., Østergaard, L., Weisskoff, R. M., Benner, T., Rosen, B. R., Sorensen, A. G. (2003). Tracer arrival timing-insensitive technique for estimating flow in MR perfusion-weighted imaging using singular value decomposition with a block-circulant deconvolution matrix. *Magnetic Resonance in Medicine*, 50 (1), 164–174. <https://doi.org/10.1002/mrm.10522>
- Kudo, K., Christensen, S., Sasaki, M., Straka, M., Fujiwara, S., Ishizaka, K. et al. (2010). Accuracy and reliability of post-processing software for DSC MR perfusion: Quantitative analysis by digital phantom data. In *Proceedings of the 18th Annual Meetings of the ISMRM*. Available at: <https://archive.ismrm.org/2010/1791.html>
- Gautam, R., Sivaswamy, J., Varma, R. (2012). An efficient, bolus-stage based method for motion correction in perfusion weighted MRI. In *Proceedings of the 21st International Conference on Pattern Recognition (ICPR2012)*, 145–148. IEEE. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6460093>
- Alkhimova, S. (2018). Detection of perfusion ROI as a quality control in perfusion analysis. In *Science, research, development*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1902.01855>
- Alkhimova, S. (2019). Impact of perfusion ROI detection to the quality of CBV perfusion map. *Technology Audit and Production Reserves*, 5 (2 (49)), 27–30. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2019.182789>
- Alkhimova, S. M., Sliusar, S. V. (2019). Analysis of effectiveness of thresholding in perfusion roi detection on T2-weighted MR images with abnormal brain anatomy. *KPI Science News*, 4, 35–43. <https://doi.org/10.20535/kpi-sn.2019.4.180237>
- Alkhimova, S., Krenevych, A. (2019). Brain tissues segmentation on mr perfusion images using CUSUM filter for boundary pixels. *International Journal of Computing*, 18 (2), 127–134. <https://doi.org/10.47839/ijc.18.2.1411>
- Alkhimova, S. (2019). CUSUM Filter for Brain Segmentation on DSC Perfusion MR Head Scans with Abnormal Brain Anatomy. *Proceedings of the 2019 International Conference on Intelligent Medicine and Image Processing*, 43–47. <https://doi.org/10.1145/3332340.3332357>
- Alkhimova, S., Diumin, O. (2023). Deep learning-based neural network for regions of interest retrieval in T2*-weighted brain perfusion MRI. *Nauka I Tehnika Sohodni*, 14 (14). [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2022-14\(14\)-301-314](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2022-14(14)-301-314)
- Fieselmann, A., Kowarschik, M., Ganguly, A., Hornegger, J., Fahrigr, R. (2011). Deconvolution-Based CT and MR Brain Perfusion Measurement: Theoretical Model Revisited and Practical Implementation Details. *International Journal of Biomedical Imaging*, 2011, 467563. <https://doi.org/10.1155/2011/467563>
- Nastencko, I., Linnik, M., Honcharuk, M., Davydovych, I., Lutchenko, V., Babenko, V., Dolinchuk, L. (2025). Results of Machine Learning Applications in the Study of COVID-19 Associated Cardiopulmonary Pathology Using Computed Tomography Data. *Innovative Biosystems and Bioengineering*, 9 (4), 16–27. <https://doi.org/10.20535/ibb.2025.9.4.325335>
- Sethi, S., Reddy, S., Sakarvadia, M., Serotte, J., Nwaudu, D., Maassen, N., Shi, L. (2025). Toward non-invasive diagnosis of Bankart lesions with deep learning. *Medical Imaging 2025: Computer-Aided Diagnosis*, 134. <https://doi.org/10.1117/12.3046251>
- Xie, H., Gan, W., Bayerlein, R., Zhou, B., Chen, M.-K., Kulon, M. et al. (2026). Dose-aware diffusion model for 3D PET image denoising: Multi-institutional validation with reader study and real low-dose data. *Medical Image Analysis*, 111, 104039. <https://doi.org/10.1016/j.media.2026.104039>
- Mahmood, M. F. (2024). Recognition and Categorization of Blood Groups by Machine Learning and Image Processing Method. *Innovative Biosystems and Bioengineering*, 8 (2), 53–68. <https://doi.org/10.20535/ibb.2024.8.2.298201>
- Ho, K. C., Scalzo, F., Sarma, K. V., El-Saden, S., Arnold, C. W. (2016). A temporal deep learning approach for MR perfusion parameter estimation in stroke. 2016 23rd International Conference on Pattern Recognition (ICPR), 1315–1320. <https://doi.org/10.1109/icpr.2016.7899819>
- Hess, A., Meier, R., Kaesmacher, J., Jung, S., Scalzo, F., Liebeskind, D. et al. (2019). Synthetic Perfusion Maps: Imaging Perfusion Deficits in DSC-MRI with Deep Learning. *Brainlesion: Glioma, Multiple Sclerosis, Stroke and Traumatic Brain Injuries*, 447–455. https://doi.org/10.1007/978-3-030-11723-8_45
- Asaduddin, M., Roh, H. G., Kim, H. J., Kim, E. Y., Park, S.-H. (2022). Perfusion Maps Acquired From Dynamic Angiography MRI Using Deep Learning Approaches. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 57 (2), 456–469. <https://doi.org/10.1002/jmri.28315>
- Kossen, T., Madai, V. I., Mutke, M. A., Hennemuth, A., Hildebrand, K., Behland, J. et al. (2023). Image-to-image generative adversarial networks for synthesizing perfusion parameter maps from DSC-MR images in cerebrovascular disease. *Frontiers in Neurology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fneur.2022.1051397>
- Talebi, S., Gai, S., Sossin, A., Zhu, V., Tong, E., Mofrad, M. R. K. (2024). Deep Learning for Perfusion Cerebral Blood Flow (CBF) and Volume (CBV) Predictions and Diagnostics. *Annals of Biomedical Engineering*, 52 (6), 1568–1575. <https://doi.org/10.1007/s10439-024-03471-7>
- Cao, A., Le, P.-Y., Qie, Z., Guo, Y., Zaman, A., Lu, J. et al. (2024). Quantitative Perfusion Maps Using a Novelty Spatiotemporal Convolutional Neural Network. 2024 IEEE International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI), 1–5. <https://doi.org/10.1109/isbi56570.2024.10635136>
- McKinley, R., Hung, F., Wiest, R., Liebeskind, D. S., Scalzo, F. (2018). A Machine Learning Approach to Perfusion Imaging With Dynamic Susceptibility Contrast MR. *Frontiers in Neurology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fneur.2018.00717>
- Ahmed, Md. M., Hossain, Md. M., Islam, Md. R., Ali, Md. S., Nafi, A. A. N., Ahmed, Md. F. et al. (2024). Brain tumor detection and classification in MRI using hybrid ViT and GRU model with explainable AI in Southern Bangladesh. *Scientific Reports*, 14 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-71893-3>
- Murase, K., Nakamoto, A., Tomiyama, N. (2024). Performance of recurrent neural networks with Monte Carlo dropout for predicting pharmacokinetic parameters from dynamic contrast-enhanced mag-

netic resonance imaging data. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 26 (2). <https://doi.org/10.1002/acm2.14586>

30. Bakas, S., Sako, C., Akbari, H., Bilello, M., Sotiras, A., Shukla, G. et al. (2022). The University of Pennsylvania glioblastoma (UPenn-GBM) cohort: advanced MRI, clinical, genomics, & radiomics. *Scientific Data*, 9 (1). <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01560-7>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.365662

DEVELOPMENT OF A CASCADE MATHEMATICAL MODEL FOR DIGITAL IMAGE PROCESSING: A SYSTEMS APPROACH (p. 49–60)

Perizat Rakhmetova

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5645-5157>

Yeldos Altay

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3736-0291>

The object of this study is to preprocess digital images degraded by additive Gaussian noise using cascaded Gaussian filtering. The scientific problem is to improve the output signal-to-noise ratio and reduce reference-based residual error of noisy digital images under additive Gaussian noise while preserving the informative structure required for subsequent image analysis. The model represents a noisy image as an additive combination of the reference image and a Gaussian noise component and describes two filtering stages through convolution of Gaussian kernels. The model is tested on the Lena benchmark image at noise levels from -10 dB to $+10$ dB and compared with median and bilateral filtering using signal-to-noise ratio and root mean square error. The results show that the cascade Gaussian model provides the highest signal-to-noise ratio over the studied range. At -10 dB the model increases SNR to 15.02 dB, whereas median and bilateral filters reach 4.21 dB and 1.26 dB. At $+10$ dB, the cascade model achieves 28.19 dB. The model lowers RMSE at -10 dB to 45.25 pixels, while median and bilateral filtering give 81.95 and 115.16 pixels. This improvement comes from how Gaussian smoothing reduces random noise and how the Gaussian kernel creates a predictable filtering effect. The feature of the research results is that higher denoising accuracy is achieved together with mathematical transparency and simple implementation, without training data or a reference noise channel. Practical application of the model is possible as a preprocessing stage in machine vision, biomedical image analysis, robotic systems, monitoring, and other tasks with Gaussian-like noise.

Keywords: image processing, cascade model, Gaussian filtering, mathematical model, machine vision.

References

- Mao, J., Sun, L., Chen, J., Yu, S. (2025). Overview of Research on Digital Image Denoising Methods. *Sensors*, 25 (8), 2615. <https://doi.org/10.3390/s25082615>
- Kaur, A., Dong, G. (2023). A Complete Review on Image Denoising Techniques for Medical Images. *Neural Processing Letters*, 55 (6), 7807–7850. <https://doi.org/10.1007/s11063-023-11286-1>
- Juneja, M., Minhas, J. S., Singla, N., Kaur, R., Jindal, P. (2023). Denoising techniques for cephalometric x-ray images: A comprehensive review. *Multimedia Tools and Applications*, 83 (17), 49953–49991. <https://doi.org/10.1007/s11042-023-17495-z>
- Chee Yong Ong, D., Sim, K. S. (2024). Single Image Signal-to-Noise Ratio (SNR) Estimation Techniques for Scanning Electron Microscope: A Review. *IEEE Access*, 12, 155747–155772. <https://doi.org/10.1109/access.2024.3482118>
- Sim, K. S., Bukhori, I., Ong, D. C. Y., Gan, K. B. (2025). Signal-to-Noise Ratio in Scanning Electron Microscopy: A Comprehensive Review. *IEEE Access*, 13, 154395–154421. <https://doi.org/10.1109/access.2025.3603013>
- Danescu, R., Turcu, V. (2026). Automatic Data Reduction of Image Sequences Acquired in Object Tracking Mode for Detection and Position Measurement of Faint Orbital Objects. *Sensors*, 26 (5), 1628. <https://doi.org/10.3390/s26051628>
- Khudov, H., Makoveichuk, O., Tokarev, S., Andriushchenko, A., Pukhovyi, O., Rohulia, O. et al. (2026). Improving a method for filtering images acquired from a space-based radar observation system based on the Kuan algorithm. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (9 (139)), 40–46. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2026.352347>
- Rakhmetova, P., Sergazin, G., Altay, Y., Dauletiya, D., Kurmangaliyeva, L. (2025). Development of in-pipe defects detection and classification system. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (9 (133)), 80–89. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.323293>
- Chang, C.-I., Liang, C.-C., Hu, P. F. (2024). Iterative Gaussian–Laplacian Pyramid Network for Hyperspectral Image Classification. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 62, 1–22. <https://doi.org/10.1109/tgrs.2024.3367127>
- Guo, A., Dian, R., Wang, N., Li, S. (2025). Better Image Filter for Pan-sharpening. *IEEE Transactions on Image Processing*, 34, 8171–8184. <https://doi.org/10.1109/tip.2025.3637675>
- Gupta, S. K., Pal, R., Ahmad, A., Melandsø, F., Habib, A. (2023). Image denoising in acoustic microscopy using block-matching and 4D filter. *Scientific Reports*, 13 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-40301-7>
- Yang, X., Tian, H., Wang, F., Ni, J., Chen, R. (2025). Low Signal-to-Noise Ratio Optoelectronic Signal Reconstruction Based on Zero-Phase Multi-Stage Collaborative Filtering. *Sensors*, 25 (9), 2758. <https://doi.org/10.3390/s25092758>
- Elad, M., Kwar, B., Vaksman, G. (2023). Image Denoising: The Deep Learning Revolution and Beyond – A Survey Paper. *SIAM Journal on Imaging Sciences*, 16 (3), 1594–1654. <https://doi.org/10.1137/23m1545859>
- Abuya, T. K., Rimiru, R. M., Okeyo, G. O. (2023). An Image Denoising Technique Using Wavelet-Anisotropic Gaussian Filter-Based Denoising Convolutional Neural Network for CT Images. *Applied Sciences*, 13 (21), 12069. <https://doi.org/10.3390/app132112069>
- Ullah, F., Kumar, K., Rahim, T., Khan, J., Jung, Y. (2025). A new hybrid image denoising algorithm using adaptive and modified decision-based filters for enhanced image quality. *Scientific Reports*, 15 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-92283-3>
- Chee Yong Ong, D., Bukhori, I., Sim, K. S., Beng Gan, K. (2025). Adaptive Optimizable Gaussian Process Regression Linear Least Squares Regression Filtering Method for SEM Images. *IEEE Access*, 13, 93574–93592. <https://doi.org/10.1109/access.2025.3573389>
- Chen, L., Wang, P., Wang, Y., Jiang, H., Cheng, D., Kou, Q. (2026). Lightweight image super resolution method inspired by memory consolidation mechanism. *Expert Systems with Applications*, 310, 131293. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2026.131293>
- Jin, X., Chen, W., Li, X., Yin, N., Wan, C., Zhao, M. et al. (2023). High-Reliability, Reconfigurable, and Fully Non-volatile Full-Adder Based on SOT-MTJ for Image Processing Applications. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, 70 (2), 781–785. <https://doi.org/10.1109/tcsii.2022.3213747>
- Altay, Y. A., Lyamin, A. V., Kelemseit, N. E., Skakov, D. M. (2023). Cascade Notch Filter with a Unity Feedback and Improved Transient Response. *2023 V International Conference on Control in Technical Systems (CTS)*, 217–220. <https://doi.org/10.1109/cts59431.2023.10288775>
- Kassimi, S., Moussa, H., Sabiki, H. (2024). Enhancing image denoising: A novel non-local anisotropic diffusion framework based on Caputo derivatives and Gaussian convolution for the Perona–Malik model. *Signal Processing*, 222, 109521. <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2024.109521>
- Jung, M. (2026). Color image denoising under mixed multiplicative and Gaussian noise via group-sparse representation and SVTV regularization. *AIMS Mathematics*, 11 (2), 3920–3956. <https://doi.org/10.3934/math.2026158>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.355867

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED QUESTION GENERATION SYSTEM FROM MULTIMEDIA CONTENT USING TEXT-TO-TEXT TRANSFER TRANSFORMER WITH BLOOM TAXONOMY CLASSIFICATION (p. 61–70)

Marvin Chandra Wijaya

Maranatha Christian University, Bandung, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5920-4348>

Markus Tanubrata

Maranatha Christian University, Bandung, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0129-6749>

The object of this study is the assessment process in digital learning environments, where multimedia educational materials such as textual documents and instructional images and require efficient methods for automatic question generation. The main problem investigated is the difficulty in generating high-quality, relevant questions from various multimedia learning materials (text and images). A multimedia question-generation system is proposed that integrates the text-to-text transfer transformer (T5) model with classification based on Bloom's taxonomy. A preprocessing workflow has been created that extracts and combines textual representations from text and images using optical character recognition (OCR) for data tokenization and performs named entity recognition (NER). The question generator application can generate various question types, including multiple-choice, short-answer, and essay questions. These questions are classified according to Bloom's taxonomy. The generated questions were evaluated using bilingual evaluation understudy (BLEU) and recall-oriented understudy for gisting evaluation (ROUGE). Experimental results demonstrated strong performance, with average scores of BLEU-1 = 0.86, BLEU-2 = 0.79, ROUGE-1 = 0.88, and ROUGE-2 = 0.81. Evaluation scores indicate that the multimodal quiz generator application produces high-quality and contextually relevant questions. Evaluation scores show similarities between reference questions and generated questions, with structured questions receiving higher scores than essay questions. The system allows its use in education and intelligent tutoring systems to produce measurable, efficient assessments. The method proposed in this study is limited to multimedia input consisting of text and images.

Keywords: automated question generation, multimedia, T5 transformer, bloom taxonomy, BLEU, ROUGE.

References

- Kurdi, G., Leo, J., Parsia, B., Sattler, U., Al-Emari, S. (2019). A Systematic Review of Automatic Question Generation for Educational Purposes. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 30 (1), 121–204. <https://doi.org/10.1007/s40593-019-00186-y>
- Raffel, C., Shazeer, N., Roberts, A., Lee, K., Narang, S., Matena, M. et al. (2020). Exploring the limits of transfer learning with a unified text-to-text transformer. *Journal of Machine Learning Research*, 21. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1910.10683>
- Zhou, L., Hu, J., Zhang, S., Du, X., Song, M., Zhang, X., Feng, Z. (2024). DenseSAM: Semantic Enhance SAM for Efficient Dense Object Segmentation. *Proceedings of the Thirty-Third International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 7994–8002. <https://doi.org/10.24963/ijcai.2024/889>
- Adhikari, Y. (2024). A Review of Revised Bloom's Taxonomy of Educational Objectives. *Education Review Journal*, 1, 115–126. <https://doi.org/10.3126/erj.v1i1.82852>
- Du, X., Shao, J., Cardie, C. (2017). Learning to Ask: Neural Question Generation for Reading Comprehension. *Proceedings of the 55th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers)*, 1342–1352. <https://doi.org/10.18653/v1/p17-1123>
- Rus, V., Wyse, B., Piwek, P., Lintean, M., Stoyanchev, S., Moldovan, C. (2010). The first question generation shared task evaluation challenge. in *Proceedings of the 6th International Natural Language Generation Conference*, 251–257. Available at: <https://aclanthology.org/W10-4234/>
- Sun, X., Liu, J., Lyu, Y., He, W., Ma, Y., Wang, S. (2018). Answer-focused and Position-aware Neural Question Generation. *Proceedings of the 2018 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, 3930–3939. <https://doi.org/10.18653/v1/d18-1427>
- Zhao, Y., Ni, X., Ding, Y., Ke, Q. (2018). Paragraph-level Neural Question Generation with Maxout Pointer and Gated Self-attention Networks. *Proceedings of the 2018 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, 3901–3910. <https://doi.org/10.18653/v1/d18-1424>
- Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., Toutanova, K. (2019). BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. *Proceedings of the 2019 Conference of the North*. <https://doi.org/10.18653/v1/n19-1423>
- Wijaya, M. C. (2021). Automatic Short Answer Grading System in Indonesian Language Using BERT Machine Learning. *Revue d'Intelligence Artificielle*, 35 (6), 503–509. <https://doi.org/10.18280/ria.350609>
- Alzubi, J. A., Jain, R., Singh, A., Parwekar, P., Gupta, M. (2021). COBERT: COVID-19 Question Answering System Using BERT. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 48 (8), 11003–11013. <https://doi.org/10.1007/s13369-021-05810-5>
- Wijaya, M. C. (2025). Development of adaptive congestion control mechanism for real-time multimedia streaming in variable network condition. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (137)), 54–63. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.339985>
- Oliinyk, V., Biziuk, A., Deineko, Z., Chelombitko, V. (2025). Formalization of text prompts to artificial intelligence systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (2 (137)), 84–97. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.335473>
- Omarkhanova, D., Oralbekova, Z. (2024). Interpretation of georadar data based on machine learning technologies. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 193–204. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2024.003289>
- Baek, J., Kim, G., Lee, J., Park, S., Han, D., Yun, S. et al. (2019). What Is Wrong With Scene Text Recognition Model Comparisons? Dataset and Model Analysis. *2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 4714–4722. <https://doi.org/10.1109/iccv.2019.00481>
- Antol, S., Agrawal, A., Lu, J., Mitchell, M., Batra, D., Zitnick, C. L., Parikh, D. (2015). VQA: Visual Question Answering. *2015 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 2425–2433. <https://doi.org/10.1109/iccv.2015.279>
- Gummineni, M. (2020). Implementing Bloom's Taxonomy Tool for Better Learning Outcomes of PLC and Robotics Course. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 15 (05), 184. <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i05.12173>
- Voloshchuk, Y., Mitsa, O. (2025). Determining the effectiveness of GPT-4.1-mini for multiclass text categorization. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (2 (137)), 98–106. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.340492>
- Gani, M. O., Ayyasamy, R. K., Sangodiah, A., Fui, Y. T. (2023). Bloom's Taxonomy-based exam question classification: The outcome of CNN and optimal pre-trained word embedding technique. *Education and Information Technologies*, 28 (12), 15893–15914. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11842-1>
- Chatoui, H., Ata, O. (2021). Automated Evaluation of the Virtual Assistant in Bleu and Rouge Scores. *2021 3rd International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/hora52670.2021.9461351>

Інформаційна
ІНФОРМАЦІЙНА І СИСТЕМА КЕРУВАННЯ

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.365021

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ВИЯВЛЕННЯ МАЛОВИСОТНОГО, МАЛОШВИДКІСНОГО ПОВІТРЯНОГО ОБ'ЄКТУ НА ФОНІ ВІДБИТТІВ ВІД ПІДСТИЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ У СИНХРОННІЙ МУЛЬТИРАДАРНІЙ СИСТЕМІ (с. 6–15)

Г. В. Худов, А. А. Лук'янчиков, В. О. Тютюнник, В. С. Комаров, О. В. Сальник, Д. О. Котов, В. Г. Малюга, Р. В. Пристінський, В. В. Власюк, С. Е. Попов

Об'єктом дослідження є процес виявлення маловисотного, малошвидкісного повітряного об'єкту на фоні відбиття від підстильної поверхні. Основна гіпотеза дослідження полягала в тому, що удосконалення методу дозволить підвищити значення сигнал/шум.

Удосконалено метод виявлення маловисотного малошвидкісного повітряного об'єкту на фоні відбиття від підстильної поверхні у синхронній мультирадарній системі, який, на відміну від відомих, передбачає:

- проведення двома радарними синхронного огляду повітряного простору по азимуту і дальності шляхом випромінювання взаємноортогональних зондуючих сигналів;
- формування на виході приймачів радарів відбитих від повітряного об'єкта сигналів;
- некогерентну сумісну обробку сигналів в синхронній мультирадарній системі з двох оглядових радарів;
- узгоджену фільтрацію прийнятих сигналів;
- формування доплерівських каналів;
- вирівнювання за часом запізнення та частотою Доплера;
- формування каналу адитивної обробки, де здійснюється некогерентне сумування сигналів та формування відміток виявлення повітряного об'єкта в адитивному каналі;
- формування каналу мультиплікативної обробки, де здійснюється перемноження сигналів та формування відміток виявлення повітряного об'єкта мультиплікативного каналу;
- об'єднання відміток виявлення повітряного об'єкта адитивного та мультиплікативного каналів і формування остаточних відміток виявлення.

Проведено експериментальне дослідження щодо виявлення маловисотного, малошвидкісного повітряного об'єкта. Використання синхронної мультирадарної системи дозволило підвищити відношення сигнал/шум в 4 рази. Додаткова мультиплікативна обробка сигналів забезпечує підвищення відношення сигнал/шум та покращує розрізнення сигналу від повітряного об'єкта на фоні сигналів від підстильної поверхні.

Ключові слова: маловисотний, малошвидкісний об'єкт, підстильна поверхня, синхронна мультирадарна система, відношення сигнал/шум.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.365354

РОЗРОБКА КОМБІНОВАНОГО МЕТОДУ РОЗШИРЕННЯ СПЕКТРА ТАЙМЕРНИХ СИГНАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПРИХОВАНІСТІ ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ (с. 16–25)

В. О. Степанов, В. В. Корчинський, В. Й. Кільдішев, Р. В. Заровський, С. М. Гавель, В. О. Славич, Р. І. Петровський

Об'єктом дослідження є процес формування шумоподібних таймерних сигнальних конструкцій із комбінованим розширенням спектра в системах захищеного радіозв'язку. У роботі вирішувалася науково-технічна проблема відсутності методів формування шумоподібних сигнальних конструкцій, які забезпечують комплексне використання переваг таймерного кодування, прямого розширення спектра та псевдовипадкового перелаштування робочої частоти для підвищення структурної прихованості та завадостійкості передавання інформації. Отримано результати щодо розроблення комбінованого методу розширення спектра непозиційних таймерних сигналів на основі поєднання прямого розширення спектра та псевдовипадкового перелаштування робочої частоти. Метод забезпечував розширення спектра в часовій і частотній областях та формування багатовимірних сигнальних структур шляхом варіювання часових інтервалів між імпульсами, використання псевдовипадкових послідовностей і перелаштування робочих частот.

Запропоновано аналітичний підхід до оцінювання структурної прихованості комбінованого сигналу з урахуванням параметрів таймерного кодування, маніпуляції та розширення спектра. Встановлено, що навіть за відносно невеликих значень параметрів сигналу забезпечувався високий рівень структурної прихованості, що суттєво ускладнювало його відтворення засобами радіоелектронної розвідки.

Отримані результати відрізнялися поєднанням таймерного кодування з методами розширення спектра, що забезпечувало формування часової, кодової та частотної невизначеності сигналу. Зміна параметрів таймерного кодування дозволяла адаптувати структуру сигнальних конструкцій залежно від рівня завад у каналі зв'язку. Практичне використання запропонованого методу доцільне під час створення перспективних систем захищеного радіозв'язку в умовах випадкових та навмисних завад.

Ключові слова: таймерні сигнали, розширення спектра, структурна прихованість, псевдовипадкове перелаштування робочої частоти.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.363911

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ АДВЕРСАРІАЛЬНИХ КІБЕРАТАК НА ЕФЕКТИВНІСТЬ КОМПЛЕКСНОГО МЕТОДУ БІОМЕТРИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ НА ОСНОВІ ЛОКАЛЬНО-ТЕКСТУРНИХ ДЕСКРИПТОРІВ (с. 26–37)

Є. О. Жабська, К. В. Меркулова, О. С. Бичков

Об'єктом дослідження є комплексний метод біометричної ідентифікації на основі локально-текстурних дескрипторів HOG і 1DLBP. Вирішувалась проблема, пов'язана з визначенням впливу адверсаріальних кібератак на точність біометричної ідентифікації за зображенням обличчя.

Оцінювання результатів в заданих умовах дослідження здійснювалось за аспектами ефективності, стійкості та стабільності роботи комплексного методу. Експерименти проводились на шести датасетах, що охоплюють контрольовані та неконтрольовані умови зйомки, з використанням уніфікованого набору метрик. Визначення впливу здійснювалось за сценаріями повної видимості рис обличчя та за наявності локальних оклюзивних збурень, характерних для адверсаріальних атак.

Коефіцієнт збереження ефективності комплексного методу при використанні в контрольованих умовах зйомки становить 86.84–92.86% при індексі чутливості 7.14–13.16%, а зниження точності є статистично незначущим для переважної більшості наборів зображень. Порівняно з DNN, деградація точності яких під впливом адверсаріальних атак сягає 26.45–76%, точність ідентифікації комплексного методу знижується на 1.5%. Такі результати зумовлені особливостями алгоритмічного формування векторів ознак дескрипторами і відсутністю чутливості комплексного методу до збурень, розрахованих на властивості DNN-методів.

Дескриптори HOG і 1DLBP обчислюють градієнтні та текстурні характеристики локальних областей зображення на основі детермінованих алгоритмів без використання навчальних параметрів і механізму зворотного поширення похибки. Внаслідок цього адверсаріальні збурення, оптимізовані для ієрархічних нелінійних представлень DNN, мають обмежений вплив на простір ознак, сформований дескрипторами. За рахунок проведення дослідження на зображеннях обличчя, отриманих у варіативних умовах, визначено межі застосовності рішення.

Встановлено придатність комплексного методу до практичного застосування у комплексах забезпечення кібербезпеки, зокрема у системах відеоспостереження, контролю доступу і контрольно-пропускних пунктів.

Ключові слова: біометрична ідентифікація, розпізнавання обличчя, обробка зображень, програмне забезпечення, кіберзагрози, адверсаріальні атаки, локально-текстурні дескриптори, HOG, 1DLBP, оклюзивні збурення.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.360606

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ГЕНЕРАЦІЇ ПЕРФУЗІЙНИХ КАРТ ЗА ДАНИМИ ДИНАМІЧНО-ЗВАЖЕНОЇ МАГНІТНО-РЕЗОНАНСНОЇ ТОМОГРАФІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ РЕКУРЕНТНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ (с. 38–48)

О. Д. Дюмін, С. М. Алхімова

Об'єктом дослідження є процес генерації карт перфузійних параметрів з часових серій зображень ДСК-МРТ головного мозку. Проблемою, яка вирішувалась у дослідженні, є неточність та неефективність генерації перфузійних карт через недостатній аналіз часових ознак, залежність від функції артеріального притоку та надмірну обчислювальну складність моделей. У роботі запропоновано підхід до генерації карт перфузійних параметрів із використанням нейронних мереж, які безпосередньо обробляють часові серії перфузійних зображень. Розроблено та експериментально досліджено три архітектури глибокого навчання, що відрізняються способом урахування часової інформації та наявністю рекурентних шарів. Оцінювання виконано на відкритому наборі медичних даних із розподілом вибірок на рівні пацієнтів для запобігання витоку інформації між навчальною та тестовою частинами. Проведено контрольоване порівняння моделей із рекурентними шарами та без них для визначення впливу явного врахування часових залежностей на точність генерації карт. Нормалізована середньоквадратична помилка зменшилась від 0.027 до 0.016 та 0.015. Індекс структурної подібності зріс від 0.826 до 0.957 та 0.973. Пікове відношення сигналу до шуму збільшилось від 31.493 до 36.095 та 36.412. Додаткове порівняння з підходами, представленими в інших дослідженнях, показало, що запропонована архітектура з рекурентними шарами демонструє конкурентні або вищі значення метрик якості зображень. Отримані результати підтверджують доцільність використання нейронних мереж із рекурентними шарами для більш точної генерації карт перфузійних параметрів. Практичне значення полягає у можливості інтеграції підходу в автоматизовані системи аналізу перфузії та підтримки клінічних рішень при діагностиці інсульту та пухлин головного мозку.

Ключові слова: перфузійні параметри, перфузія з динамічною контрастною чутливістю, магнітно-резонансна томографія.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.365662

РОЗРОБКА КАСКАДНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ: СИСТЕМНИЙ ПІДХІД (с. 49–60)

Perizat Rakhmetova, Yeldos Altay

Об'єктом цього дослідження є попередня обробка цифрових зображень, деградованих адитивним гаусовим шумом, за допомогою каскадної гаусової фільтрації. Наукова проблема полягає в покращенні вихідного співвідношення сигнал/шум та зменшенні залишкової похибки на основі еталонного рівня зашумлених цифрових зображень під впливом адитивного гаусового шуму, зберігаючи при цьому інформативну структуру, необхідну для подальшого аналізу зображення. Модель представляє зашумлене зображення як адитивну комбінацію еталонного зображення та гаусової шумової складової та описує два етапи фільтрації шляхом згортки гаусових

ядер. Модель протестовано на еталонному зображенні Лени при рівнях шуму від -10 дБ до $+10$ дБ та порівняно з медіанною та двосторонньою фільтрацією з використанням співвідношення сигнал/шум та середньоквадратичної похибки. Результати показують, що каскадна гаусова модель забезпечує найвище співвідношення сигнал/шум у досліджуваному діапазоні. При -10 дБ модель збільшує співвідношення сигнал/шум до $15,02$ дБ, тоді як медіанні та двосторонні фільтри досягають $4,21$ дБ та $1,26$ дБ. При $+10$ дБ каскадна модель досягає $28,19$ дБ. Модель знижує середньоквадратичне відхилення (RMSE) на -10 дБ до $45,25$ пікселів, тоді як медіанна та двостороння фільтрація дають $81,95$ та $115,16$ пікселів. Це покращення зумовлене тим, що гаусове згладжування зменшує випадковий шум, а гаусове ядро створює передбачуваний ефект фільтрації. Особливість результатів дослідження полягає в тому, що вища точність шумозаглушення досягається разом з математичною прозорістю та простою реалізацією, без навчальних даних або опорного каналу шуму. Практичне застосування моделі можливе як етап попередньої обробки в машинному зорі, аналізі біомедичних зображень, робототехнічних системах, моніторингу та інших завданнях з гаусовоподібним шумом.

Ключові слова: обробка зображень, каскадна модель, гаусова фільтрація, математична модель, машинний зір.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.355867

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ГЕНЕРАЦІЇ ПИТАНЬ З МУЛЬТИМЕДІЙНОГО КОНТЕНТУ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ТЕКСТУ В ТЕКСТ З КЛАСИФІКАЦІЄЮ ТАКСОНОМІЇ БЛУМА (с. 61–70)

Marvin Chandra Wijaya, Markus Tanubrata

Об'єктом цього дослідження є процес оцінювання в цифрових навчальних середовищах, де мультимедійні навчальні матеріали, такі як текстові документи та навчальні зображення, потребують ефективних методів автоматичної генерації питань. Основною досліджуваною проблемою є складність створення високоякісних, релевантних питань з різних мультимедійних навчальних матеріалів (тексту та зображень). Запропоновано мультимедійну систему генерації питань, яка інтегрує модель перетворення тексту в текст (T5) з класифікацією на основі таксономії Блума. Було створено робочий процес попередньої обробки, який витягує та поєднує текстові представлення з тексту та зображень за допомогою оптичного розпізнавання символів (OCR) для токенизації даних та виконує розпізнавання іменованих сутностей (NER). Програма генератора питань може генерувати різні типи питань, включаючи питання з вибором однієї правильної відповіді, питання з короткою відповіддю та есе. Ці питання класифікуються відповідно до таксономії Блума. Згенеровані питання були оцінені за допомогою двомовного методу оцінювання (BLEU) та методу оцінювання, орієнтованого на повторення, для технічного опису (ROUGE). Експериментальні результати продемонстрували високу продуктивність із середніми балами BLEU-1 = $0,86$, BLEU-2 = $0,79$, ROUGE-1 = $0,88$ та ROUGE-2 = $0,81$. Оцінки вказують на те, що програма-генератор мультимодальних вікторин створює високоякісні та контекстуально релевантні питання. Оцінки показують подібність між контрольними питаннями та згенерованими питаннями, причому структуровані питання отримують вищі бали, ніж питання у формі есе. Система дозволяє використовувати її в освіті та інтелектуальних системах навчання для створення вимірних, ефективних оцінок. Метод, запропонований у цьому дослідженні, обмежується мультимедійним введенням, що складається з тексту та зображень.

Ключові слова: автоматизована генерація питань, мультимедіа, трансформатор T5, таксономія Блума, BLEU, ROUGE.