

## ABSTRACT AND REFERENCES

## INFORMATION AND CONTROLLING SYSTEM

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.252561

**IMPROVING THE ACCURACY AND PERFORMANCE SPEED OF THE DIGITAL SPECTRAL-CORRELATION METHOD FOR MEASURING DELAY IN RADIO SIGNALS AND DIRECTION FINDING (p. 6–14)**

**Akezhan Sabibolda**

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1186-7940>**Vitaliy Tsyporenko**

Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8559-006X>**Valentyn Tsyporenko**

Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6843-8960>**Nurzhigit Smailov**

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7264-2390>**Kanat Zhunussov**

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8312-3767>**Askar Abdykadyrov**

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1143-4675>**Moldir Baigulbayeva**Al-Farabi Kazakh National university,  
Almaty, Republic of KazakhstanORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9604-8038>**Nurzak Duisenov**Central-Asian Innovation University,  
Shymkent, Republic of KazakhstanORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8932-0569>

A promising direction for the development of passive radar monitoring stations is to improve their efficiency by increasing their speed of performance. For the digital spectral-correlation method for determining the delay of radio signals and direction finding, analytical expressions have been derived for a variance of the estimation of the delay in receiving a signal by radio channels and directions to the source of radio emission. A feature of the method reported in this study is the use of two-stage temporal and spatial spectral analysis of the mutual spectrum, a single-iteration correlation analysis.

The duration of estimating the direction finding has been evaluated through the total number of multiplication operations with accumulation. The proposed method, while providing for a gain of 27 times in terms of performance speed, demonstrated a slight decrease in accuracy compared to the optimal one due to energy signal loss.

The result of the simulation has established the dependences of the standard deviation in the direction finding and delay estimates on the signal-to-noise ratio, the type of spectral analysis window, and the size of the antenna base.

The standard deviation of the direction-finding estimate depends on the signal-to-noise ratio and varies over the range of values  $[0.08; 0.034]^\circ$  with a change in the signal/noise ratio  $[-10; 40]$  dB. As the signal/noise ratio increases, the error decreases in line with a hyperbolic dependence. The standard deviation of the delay estimate depends on the signal-to-noise ratio and varies similarly to the error of the directional estimate, and is in the range of values  $[18.176; 1.56]$  ns, which corresponds to an error of  $[0.637; 0.055]$  %. The error of direction-finding estimation, depending on the size of the antenna base, decreases in the exponent within  $[1.6; 0.03]^\circ$  with an increase in the antenna base in the range from 200 to 7,500 m.

The results reported here could be used for the parametric optimization of spectral-correlation radio direction finders at passive radar monitoring stations.

**Keywords:** estimate variance, accuracy, speed of direction finding, spectral-correlation method, antenna base.

**References**

1. Rembovskiy, A. M., Ashihmin, A. V., Koz'min, V. A.; Rembovskiy, A. M. (Ed.) (2015). Radiomonitoring: zadachi, metody, sredstva. Moscow: Goryachaya liniya – Telekom, 640.
2. Tsyporenko, V. G., Tsyporenko, V. V., Andreiev, O. V., Sabibolda, A. M. (2021). Digital spectral correlation method for measuring radio signal reception delay and direction finding. *Technical Engineering*, 2 (88), 113–121. doi: [https://doi.org/10.26642/ten-2021-2\(88\)-113-121](https://doi.org/10.26642/ten-2021-2(88)-113-121)
3. Elbir, A. M. (2017). Direction Finding in the Presence of Direction-Dependent Mutual Coupling. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 16, 1541–1544. doi: <https://doi.org/10.1109/lawp.2017.2647983>
4. Tsyporenko, V. V., Tsyporenko, V. G., Nikitzuk, T. M. (2019). Optimization of direct digital method of correlative-interferometric direction finding with reconstruction of spatial analytical signal. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 3, 15–24. doi: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2019-3-2>
5. Tsyporenko, V. V., Tsyporenko, V. G., Chukhov, V. V., Andreiev, O. V. (2018). Analysis of Accuracy of Direct Digital Method of Correlative-Interferometric Direction Finding with Two-Dimensional Correlative Processing of Spatial Signal. *Visnyk NTUU KPI Seriya – Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*, 72, 23–31. doi: <https://doi.org/10.20535/radap.2018.72.23-31>
6. Duploux, J., Morlaas, C., Aubert, H., Potier, P., Pouliguen, P. (2019). Wideband Vector Antenna for Dual-Polarized and Three-Dimensional Direction-Finding Applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 18 (8), 1572–1575. doi: <https://doi.org/10.1109/lawp.2019.2923531>
7. Lee, J.-H., Kim, J.-K., Ryu, H.-K., Park, Y.-J. (2018). Multiple Array Spacings for an Interferometer Direction Finder With High Direction-Finding Accuracy in a Wide Range of Frequencies. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 17 (4), 563–566. doi: <https://doi.org/10.1109/lawp.2018.2803107>
8. Xie, X., Xu, Z. (2018). Direction Finding of BPSK Signals Using Time-Modulated Array. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 28 (7), 618–620. doi: <https://doi.org/10.1109/lmwc.2018.2834523>

9. Cai, J., Zhou, H., Huang, W., Wen, B. (2021). Ship Detection and Direction Finding Based on Time-Frequency Analysis for Compact HF Radar. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 18 (1), 72–76. doi: <https://doi.org/10.1109/lgrs.2020.2967387>
10. He, C., Liang, X., Li, Z., Geng, J., Jin, R. (2015). Direction Finding by Time-Modulated Array With Harmonic Characteristic Analysis. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 14, 642–645. doi: <https://doi.org/10.1109/lawp.2014.2373432>
11. Proakis, J. G., Manolakis, D. (2006). *Digital Signal Processing. Principles, Algorithms, and Applications*. Pearson, 1104.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.252988**

**DEVELOPMENT OF A MODIFICATION OF THE METHOD FOR CONSTRUCTING ENERGY-EFFICIENT SENSOR NETWORKS USING STATIC AND DYNAMIC SENSORS (p. 15–23)**

**Volodymyr Petrivskyy**

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9298-8244>

**Viktor Shevchenko**

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9457-7454>

**Serhii Yevseiev**

National Technical University  
«Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1647-6444>

**Oleksandr Milov**

National Technical University  
«Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6135-2120>

**Oleksandr Laptiev**

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4194-402X>

**Oleksii Bychkov**

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9378-9535>

**Vitalii Fedoriienko**

The National Defence University of Ukraine  
named after Ivan Cherniakhovskyy, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0921-3390>

**Maksim Tkachenko**

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2929-3495>

**Oleg Kurchenko**

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3507-2392>

**Ivan Opirskyy**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8461-8996>

Due to the widespread use of sensors and sensor networks in the tasks of territory coverage, the relevant criteria are maximizing coverage and minimizing energy consumption. At the same time, the compliance of the network with these criteria is an urgent problem in the modern technological world. A modification of the method for constructing energy-

efficient sensor networks is proposed by introducing an additional criterion for minimizing the number of sensors and limiting the number of sensors used, which allows reducing the energy consumption of sensor networks by 19 %. In the resulting optimization problem, the optimality criteria are the functions of minimizing the area of uncovered territory, the value of energy consumption, and the number of sensors. The optimum solution is formed by pairs of values of the coverage radius and the level of intersection of the coverage areas, which provide maximum coverage while minimizing energy consumption and the number of sensors used. To solve the problem, the parameter convolution method and the genetic algorithm were used. In the case of dynamic sensors, the problem is to find such a trajectory of the sensor that provides the maximum flyby of the territory with a minimum length. A grid algorithm is proposed to find the necessary trajectory. The presented algorithm consists in dividing the territory into nodes and estimating the value of the covered territory by the sensor in this node. After the formation of estimates, the search for a Hamiltonian path was used. The case of a multiply connected territory with the possibility of turning it into a simply connected one is considered. A scheme for finding the parameters of energy-efficient coverage of the territory using static and dynamic sensors is proposed.

**Keywords:** sensor network, territory coverage, energy efficiency of sensor networks, optimum flight trajectory.

**References**

1. Grimes, C., Dickey, E., Pishko, M. (Eds.) (2005). *Encyclopedia of Sensors: 10-Volume Set. Vols. 1–10*. The Pennsylvania State University, University Park. Available at: <http://www.aspbs.com/eos.html>
2. Blaauw, F. J., Schenk, H. M., Jeronimus, B. F., van der Krieke, L., de Jonge, P., Aiello, M., Emerencia, A. C. (2016). Let's get Physiquial – An intuitive and generic method to combine sensor technology with ecological momentary assessments. *Journal of Biomedical Informatics*, 63, 141–149. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2016.08.001>
3. Internet of Everything izmenit mir k luchshemu (2012). Available at: <https://www.g-news.com.ua/news/10-it/-/13936-internet-of-everything-izmenit-mir-k-luchshemu.html>
4. Warneke, B., Last, M., Liebowitz, B., Pister, K. S. J. (2001). Smart Dust: communicating with a cubic-millimeter computer. *Computer*, 34 (1), 44–51. doi: <https://doi.org/10.1109/2.895117>
5. Egorov, L. L., Kologrivov, V. A., Melihov, S. V. (2009). Algoritm rascheta zon pokrytiya bazovyh stantsiy sotovoy svyazi. *Doklady TUSURa*, 19, 15–21.
6. Wu, H., Liu, Z., Hu, J., Yin, W. (2020). Sensor placement optimization for critical-grid coverage problem of indoor positioning. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 16 (12), 155014772097992. doi: <https://doi.org/10.1177/1550147720979922>
7. Danyliuk, S. L. (2016). Adaptive ecological monitoring: conceptual approaches. *Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence*, 1 (25), 45–48.
8. Astrakova, S. N., Erzinbc, A. I., Zalyubovskiy, V. V. (2009). Sensor networks and covering of plane by discs. *Diskretn. Anal. Issled. Oper.*, 16 (3), 3–19.
9. Petrivskyy, V., Shevchenko, V., Bychkov, O., Brazhenenko, M. (2020). Information Technology of the Increasing Sensors Term of Use Considering Their Movement. 2020 IEEE XVth International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH). doi: <https://doi.org/10.1109/memstech49584.2020.9109431>

10. Petrivskiy, V. Ya., Shevchenko, V. L., Brazhynenko, M. H. (2019). Zbilshennia chasu roboty datchyiv shliakhom rehuliuвання enerhovytrat. *Systemy Obrobky Informatsiyi*, 3 (158), 36–41.
11. Luo, C., Chen, W., Li, D., Wang, Y., Du, H., Wu, L., Wu, W. (2021). Optimizing flight trajectory of UAV for efficient data collection in wireless sensor networks. *Theoretical Computer Science*, 853, 25–42. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tcs.2020.05.019>
12. Haider, S. K., Jiang, A., Almogren, A., Rehman, A. U., Ahmed, A., Khan, W. U., Hamam, H. (2021). Energy Efficient UAV Flight Path Model for Cluster Head Selection in Next-Generation Wireless Sensor Networks. *Sensors*, 21 (24), 8445. doi: <https://doi.org/10.3390/s21248445>
13. Amar, M. A., Khaznaji, W., Horchani, L. (2020). PTSP Solution Strategy for Motion Trajectory of UAV in Ubiquitous Sensor Network. *Procedia Computer Science*, 176, 3191–3199. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.09.130>
14. Ghosh, N., Sett, R., Banerjee, I. (2017). An efficient trajectory based routing scheme for delay-sensitive data in wireless sensor network. *Computers & Electrical Engineering*, 64, 288–304. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2017.06.003>
15. Miles, J., Kamath, G., Muknahallipatna, S., Stefanovic, M., Kubichek, R. F. (2013). Optimal trajectory determination of a single moving beacon for efficient localization in a mobile ad-hoc network. *Ad Hoc Networks*, 11 (1), 238–256. doi: <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2012.05.009>
16. Petrivskiy, V. Y., Shevchenko, V. L., Bychkov, O. S., Loza, V. M. (2020). Information technology of territory covering by sensors with the constant intersection level and cost minimization. *Collection of Scientific Works of the Military Institute of Kyiv National Taras Shevchenko University*, 68, 65–72. doi: <https://doi.org/10.17721/2519-481x/2020/68-07>
17. Petrivskiy, V., Shevchenko, V., Bychkov, O., Brazhenenko, M., Petrov, P. (2021). CAD technology for optimal territory covering. 2021 IEEE 16th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM). doi: <https://doi.org/10.1109/cadsm52681.2021.9385223>
18. Novikova, N. M., Pospelova, I. I., Zenyukov, A. I. (2017). Method of convolution in multicriteria problems with uncertainty. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 56 (5), 774–795. doi: <https://doi.org/10.1134/s1064230717050082>
19. Alperen, Y., Sertac, C. (2020). Multi objective optimization of a micro-channel heat sink through genetic algorithm. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 146, 118847. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.118847>
20. Bondarenko, M. F., Bilous, N. V., Rutkas, A. H. (2004). *Kompiuterna dyskretna matematyka*. Kharkiv: Kompaniya SMYT, 480.
21. Murty, M. R., Thain, N. (2007). Pick's Theorem via Minkowski's Theorem. *The American Mathematical Monthly*, 114 (8), 732–736. doi: <https://doi.org/10.1080/00029890.2007.11920465>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.252876

**IMPROVING THE MODEL OF OBJECT DETECTION ON AERIAL PHOTOGRAPHS AND VIDEO IN UNMANNED AERIAL SYSTEMS (p. 24–34)**

**Vadym Slyusar**

Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2912-3149>

**Mykhailo Protsenko**

Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5057-6145>

**Anton Chernukha**

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0365-3205>

**Vasyl Melkin**

Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9345-3396>

**Oleh Biloborodov**

Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3166-2659>

**Mykola Samoilenko**

Mykolayiv National Agrarian University, Mykolayiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3292-9717>

**Olena Kravchenko**

Mykolayiv National Agrarian University, Mykolayiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3453-0280>

**Halyna Kalynyuchenko**

Mykolayiv National Agrarian University, Mykolayiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0909-0044>

**Anton Rohovyj**

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8178-4585>

**Mykhaylo Soloshchuk**

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0031-5101>

This paper considers a model of object detection on aerial photographs and video using a neural network in unmanned aerial systems. The development of artificial intelligence and computer vision systems for unmanned systems (drones, robots) requires the improvement of models for detecting and recognizing objects in images and video streams. The results of video and aerial photography in unmanned aircraft systems are processed by the operator manually but there are objective difficulties associated with the operator's processing of a large number of videos and aerial photographs, so it is advisable to automate this process. Analysis of neural network models has revealed that the YOLOv5x model (USA) is most suitable, as a basic model, for performing the task of object detection on aerial photographs and video. The Microsoft COCO suite (USA) is used to train this model. This set contains more than 200,000 images across 80 categories. To improve the YOLOv5x model, the neural network was trained with a set of VisDrone 2021 images (China) with the choice of such optimal training parameters as the optimization algorithm SGD; the initial learning rate (step) of 0.0005; the number of epochs of 25. As a result, a new model



of object detection on aerial photographs and videos with the proposed name VisDroneYOLOv5x was obtained. The effectiveness of the improved model was studied using aerial photographs and videos from the VisDrone 2021 set. To assess the effectiveness of the model, the following indicators were chosen as the main indicators: accuracy, sensitivity, the estimation of average accuracy. Using a convolutional neural network has made it possible to automate the process of object detection on aerial photographs and video in unmanned aerial systems.

**Keywords:** neural network, object detection, VisDrone 2021, Microsoft COCO, YOLOv5x, unmanned aerial system.

## References

- Kuznetsova, Y., Somochkin, M. (2021). The concept of creating an intellectual core of an integrated information and analytical system for action in emergencies of man-made nature. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, 4 (18), 40–49. doi: <https://doi.org/10.30837/itssi.2021.18.040>
- Peng, F., Zheng, L., Cui, X., Wang, Z. (2021). Traffic flow statistics algorithm based on YOLOv3. *2021 International Conference on Communications, Information System and Computer Engineering (CISCE)*. doi: <https://doi.org/10.1109/cisce52179.2021.9445932>
- Bin Zuraimi, M. A., Kamaru Zaman, F. H. (2021). Vehicle Detection and Tracking using YOLO and DeepSORT. *2021 IEEE 11th IEEE Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE)*. doi: <https://doi.org/10.1109/iscaie51753.2021.9431784>
- Fedosov, V. P., Ibadov, S. R., Ibadov, R. R., Kucheryavenko, S. V. (2021). Method For Detecting Violation at a Pedestrian Crossing Using a Convolutional Neural Network. *2021 Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves (RSEMW)*. doi: <https://doi.org/10.1109/rsemw52378.2021.9494089>
- Sindhu, V. S. (2021). Vehicle Identification from Traffic Video Surveillance Using YOLOv4. *2021 5th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)*. doi: <https://doi.org/10.1109/iciccs51141.2021.9432144>
- Kim, J., Koh, J., Lee, B., Yang, S., Choi J. (2021). Video Object Detection Using Object's Motion Context and Spatio-Temporal Feature Aggregation. *2020 25th International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*. doi: <https://doi.org/10.1109/icpr48806.2021.9412715>
- Ahmed, A. A., Echi, M. (2021). Hawk-Eye: An AI-Powered Threat Detector for Intelligent Surveillance Cameras. *IEEE Access*, 9, 63283–63293. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2021.3074319>
- Zhao, Z.-Q., Zheng, P., Xu, S.-T., Wu, X. (2019). Object Detection With Deep Learning: A Review. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 30 (11), 3212–3232. doi: <https://doi.org/10.1109/tnnls.2018.2876865>
- Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., Farhadi, A. (2016). You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. doi: <https://doi.org/10.1109/cvpr.2016.91>
- Slyusar, V., Protsenko, M., Chernukha, A., Gornostal, S., Rudakov, S., Shevchenko, S. et. al. (2021). Construction of an advanced method for recognizing monitored objects by a convolutional neural network using a discrete wavelet transform. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (112)), 65–77. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.238601>
- Redmon, J., Farhadi, A. (2017). YOLO9000: Better, Faster, Stronger. *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. doi: <https://doi.org/10.1109/cvpr.2017.690>
- Knysh, B., Kulyk, Y. (2021). Improving a model of object recognition in images based on a convolutional neural network. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (9 (111)), 40–50. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.233786>
- Huang, Z., Wang, J., Fu, X., Yu, T., Guo, Y., Wang, R. (2020). DC-SPP-YOLO: Dense connection and spatial pyramid pooling based YOLO for object detection. *Information Sciences*, 522, 241–258. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2020.02.067>
- Bochkovskiy, A., Wang, C.-Y., Liao, M. (2020). YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection. *arXiv.org*. Available at: <https://arxiv.org/pdf/2004.10934.pdf>
- Xu, R., Lin, H., Lu, K., Cao, L., Liu, Y. (2021). A Forest Fire Detection System Based on Ensemble Learning. *Forests*, 12 (2), 217. doi: <https://doi.org/10.3390/f12020217>
- Everingham, M., Eslami, S. M. A., Van Gool, L., Williams, C. K. I., Winn, J., Zisserman, A. (2014). The Pascal Visual Object Classes Challenge: A Retrospective. *International Journal of Computer Vision*, 111 (1), 98–136. doi: <https://doi.org/10.1007/s11263-014-0733-5>
- Lin, T.-Y., Maire, M., Belongie, S., Hays, J., Perona, P., Ramanan, D. et. al. (2014). Microsoft COCO: Common Objects in Context. *Lecture Notes in Computer Science*, 740–755. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-10602-1\\_48](https://doi.org/10.1007/978-3-319-10602-1_48)
- Zhu, P., Wen, L., Bian, X., Ling, H., Hu, Q. (2018). Vision meets drones: A challenge. *arXiv.org*. Available at: <https://arxiv.org/pdf/1804.07437.pdf>
- Ultralytics Yolov5 and Vision AI. Available at: <https://github.com/ultralytics/yolov5>
- Slyusar, V., Protsenko, M., Chernukha, A., Kovalov, P., Borodych, P., Shevchenko, S. et. al. (2021). Improvement of the model of object recognition in aero photographs using deep convolutional neural networks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (2 (113)), 6–21. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.243094>
- Slyusar, V., Protsenko, M., Chernukha, A., Melkin, V., Petrova, O., Kravtsov, M. et. al. (2021). Improving a neural network model for semantic segmentation of images of monitored objects in aerial photographs. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (2 (114)), 86–95. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.248390>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.251637

## DEVELOPMENT OF A METHOD FOR TRAINING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR INTELLIGENT DECISION SUPPORT SYSTEMS (p. 35–44)

Qasim Abbood Mahdi

Al Taff University College, Karbala, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6612-3511>

Andrii Shyshatskyi

Central Scientific Research Institute of Armament and Military

Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6731-6390>

**Oleksandr Symonenko**

Military Institute of Telecommunications and Information Technologies named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8511-2017>

**Nadiia Protas**

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0943-0587>

**Oleksandr Trotsko**

Military Institute of Telecommunications and Information Technologies named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7535-5023>

**Volodymyr Kyvliuk**

The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovsky, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5269-576X>

**Artem Shulhin**

State Scientific-Research Institute of Aviation, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2403-7348>

**Petro Steshenko**

State Scientific-Research Institute of Aviation, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1432-6864>

**Eduard Ostapchuk**

Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8095-0203>

**Tetiana Holenkovska**

Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7165-6133>

We developed a method of training artificial neural networks for intelligent decision support systems. A distinctive feature of the proposed method consists in training not only the synaptic weights of an artificial neural network, but also the type and parameters of the membership function. In case of impossibility to ensure a given quality of functioning of artificial neural networks by training the parameters of an artificial neural network, the architecture of artificial neural networks is trained. The choice of architecture, type and parameters of the membership function is based on the computing resources of the device and taking into account the type and amount of information coming to the input of the artificial neural network. Another distinctive feature of the developed method is that no preliminary calculation data are required to calculate the input data. The development of the proposed method is due to the need for training artificial neural networks for intelligent decision support systems, in order to process more information, while making unambiguous decisions. According to the results of the study, this training method provides on average 10–18% higher efficiency of training artificial neural networks and does not accumulate training errors. This method will allow training artificial neural networks by training the parameters and architecture, determining effective measures to improve the efficiency of artificial neural networks. This method will allow reducing the use of computing resources of decision support systems, developing measures to im-

prove the efficiency of training artificial neural networks, increasing the efficiency of information processing in artificial neural networks.

**Keywords:** artificial neural networks, efficiency of information processing, decision support systems.

**References**

- Kalantaievskaya, S., Pievtsov, H., Kuvshynov, O., Shyshatskyi, A., Yarosh, S., Gatsenko, S. et al. (2018). Method of integral estimation of channel state in the multiantenna radio communication systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (95)), 60–76. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.144085>
- Kuchuk, N., Mohammed, A. S., Shyshatskyi, A., Nalanko, O. (2019). The method of improving the efficiency of routes selection in networks of connection with the possibility of self-organization. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 8 (1.2), 1–6. Available at: <http://www.warse.org/IJATCSE/static/pdf/file/ijatcse01812sl2019.pdf>
- Raskin, L., Sira, O. (2016). Method of solving fuzzy problems of mathematical programming. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (4 (83)), 23–28. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.81292>
- Katranzhy, L., Podskrebko, O., Krasko, V. (2018). Modelling the dynamics of the adequacy of bank's regulatory capital. *Baltic Journal of Economic Studies*, 4 (1), 188–194. doi: <https://doi.org/10.30525/2256-0742/2018-4-1-188-194>
- Manea, E., Di Carlo, D., Depellegrin, D., Agardy, T., Gissi, E. (2019). Multidimensional assessment of supporting ecosystem services for marine spatial planning of the Adriatic Sea. *Ecological Indicators*, 101, 821–837. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.12.017>
- Çavdar, A. B., Ferhatosmanoğlu, N. (2018). Airline customer lifetime value estimation using data analytics supported by social network information. *Journal of Air Transport Management*, 67, 19–33. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2017.10.007>
- Kachayeva, G. I., Mustafayev, A. G. (2018). The use of neural networks for the automatic analysis of electrocardiograms in diagnosis of cardiovascular diseases. *Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences*, 45 (2), 114–124. doi: <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2018-45-2-114-124>
- Zhdanov, V. V. (2016). Experimental method to predict avalanches based on neural networks. *Ice and Snow*, 56 (4), 502–510. doi: <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2016-4-502-510>
- Kanev, A., Nasteka, A., Bessonova, C., Nevmerzhtsky, D., Silaev, A., Efremov, A., Nikiforova, K. (2017). Anomaly detection in wireless sensor network of the «smart home» system. 2017 20th Conference of Open Innovations Association (FRUCT). doi: <https://doi.org/10.23919/fruct.2017.8071301>
- Sreeshakthy, M., Preethi, J. (2015). Classification of human emotion from deep EEG signal using hybrid improved neural networks with Cuckoo Search. *Brain: Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience*, 6 (3-4), 60–73. Available at: <https://brain.edusoft.ro/index.php/brain/article/view/519>
- Chica, J., Zaputt, S., Encalada, J., Salamea, C., Montalvo, M. (2019). Objective assessment of skin repigmentation using a multilayer perceptron. *Journal of Medical Signals & Sensors*, 9 (2), 88. doi: [https://doi.org/10.4103/jmss.jmss\\_52\\_18](https://doi.org/10.4103/jmss.jmss_52_18)

12. Massel, L. V., Gerget, O. M., Massel, A. G., Mamedov, T. G. (2019). The Use of Machine Learning in Situational Management in Relation to the Tasks of the Power Industry. EPJ Web of Conferences, 217, 01010. doi: <https://doi.org/10.1051/epjconf/201921701010>
13. Abaci, K., Yamacli, V. (2019). Hybrid Artificial Neural Network by Using Differential Search Algorithm for Solving Power Flow Problem. Advances in Electrical and Computer Engineering, 19 (4), 57–64. doi: <https://doi.org/10.4316/aecce.2019.04007>
14. Mishchuk, O. S., Vitynskyi, P. B. (2018). Neural Network with Combined Approximation of the Surface of the Response. Research Bulletin of the National Technical University of Ukraine «Kyiv Politechnic Institute», 2, 18–24. doi: <https://doi.org/10.20535/1810-0546.2018.2.129022>
15. Kazemi, M., Faezirad, M. (2018). Efficiency estimation using nonlinear influences of time lags in DEA Using Artificial Neural Networks. Industrial Management Journal, 10 (1), 17–34. doi: <http://doi.org/10.22059/imj.2018.129192.1006898>
16. Parapuram, G., Mokhtari, M., Ben Hmida, J. (2018). An Artificially Intelligent Technique to Generate Synthetic Geomechanical Well Logs for the Bakken Formation. Energies, 11 (3), 680. doi: <https://doi.org/10.3390/en11030680>
17. Prokoptsev, N. G., Alekseenko, A. E., Kholodov, Y. A. (2018). Traffic flow speed prediction on transportation graph with convolutional neural networks. Computer Research and Modeling, 10 (3), 359–367. doi: <https://doi.org/10.20537/2076-7633-2018-10-3-359-367>
18. Dudnyk, V., Sinenko, Y., Matsyk, M., Demchenko, Y., Zhyvotovskiy, R., Repilo, I. et. al. (2020). Development of a method for training artificial neural networks for intelligent decision support systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (2 (105)), 37–47. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203301>
19. Bodyanskiy, Ye., Pliss, I., Vynokurova, O. (2013). Flexible wavelet-neuro-fuzzy neuron in dynamic data mining tasks. Oil and Gas Power Engineering, 2 (20), 158–162. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nge\\_2013\\_2\\_18](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nge_2013_2_18)
20. Haykin, S. (2009). Neural networks and learning machines. Pearson, 906. Available at: <http://dai.fmph.uniba.sk/courses/NN/haykin.neural-networks.3ed.2009.pdf>
21. Nelles, O. (2001). Nonlinear System Identification. Springer, 786. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-04323-3>
22. Wang, L.-X., Mendel, J. M. (1992). Fuzzy basis functions, universal approximation, and orthogonal least-squares learning. IEEE Transactions on Neural Networks, 3 (5), 807–814. doi: <https://doi.org/10.1109/72.159070>
23. Kohonen, T. (1995). Self-Organizing Maps. Springer, 362. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-97610-0>
24. Kasabov, N. (2003). Evolving Connectionist Systems. Springer, 307. doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-3740-5>
25. Sugeno, M., Kang, G. T. (1988). Structure identification of fuzzy model. Fuzzy Sets and Systems, 28 (1), 15–33. doi: [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(88\)90113-3](https://doi.org/10.1016/0165-0114(88)90113-3)
26. Ljung, L. (1999). System Identification. Theory for the User. PTR Prentice Hall, Upper Saddle River, 609. Available at: <https://www.twirpx.com/file/277211/>
27. Otto, P., Bodyanskiy, Y., Kolodyazhniy, V. (2003). A new learning algorithm for a forecasting neuro-fuzzy network. Integrated Computer-Aided Engineering, 10 (4), 399–409. doi: <https://doi.org/10.3233/ica-2003-10409>
28. Narendra, K. S., Parthasarathy, K. (1990). Identification and control of dynamical systems using neural networks. IEEE Transactions on Neural Networks, 1 (1), 4–27. doi: [doi.org/10.1109/72.80202](https://doi.org/10.1109/72.80202)
29. Petruk, S., Zhyvotovskiy, R., Shyshatskyi, A. (2018). Mathematical Model of MIMO. 2018 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T). doi: <https://doi.org/10.1109/infocommst.2018.8632163>
30. Zhyvotovskiy, R., Shyshatskyi, A., Petruk, S. (2017). Structural-semantic model of communication channel. 2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T). doi: <https://doi.org/10.1109/infocommst.2017.8246454>
31. Alieinykov, I., Thamer, K. A., Zhuravskiy, Y., Sova, O., Smirnova, N., Zhyvotovskiy, R. et. al. (2019). Development of a method of fuzzy evaluation of information and analytical support of strategic management. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (2 (102)), 16–27. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.184394>
32. Koshlan, A., Salmikova, O., Chekhovska, M., Zhyvotovskiy, R., Prokopenko, Y., Hurskyi, T. et. al. (2019). Development of an algorithm for complex processing of geospatial data in the special-purpose geoinformation system in conditions of diversity and uncertainty of data. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (9 (101)), 35–45. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.180197>
33. Gorokhovatsky, V., Stiahlyk, N., Tsarevska, V. (2021). Combination method of accelerated metric data search in image classification problems. Advanced Information Systems, 5 (3), 5–12. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.3.01>
34. Levashenko, V., Liashenko, O., Kuchuk, H. (2020). Building Decision Support Systems based on Fuzzy Data. Advanced Information Systems, 4 (4), 48–56. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.4.07>
35. Meleshko, Y., Driev, O., Drieva, H. (2020). Method of identification bot profiles based on neural networks in recommendation systems. Advanced Information Systems, 4 (2), 24–28. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.2.05>
36. Kuchuk, N., Merlak, V., Skorodelov, V. (2020). A method of reducing access time to poorly structured data. Advanced Information Systems, 4 (1), 97–102. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.1.14>
37. Shyshatskyi, A., Tiurnikov, M., Suhak, S., Bondar, O., Melnyk, A., Bokhno, T., Lyashenko, A. (2020). Method of assessment of the efficiency of the communication of operational troop grouping system. Advanced Information Systems, 4 (1), 107–112. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.1.16>

---

DOI: [10.15587/1729-4061.2022.251350](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.251350)

**ANALYZING THE ACCURACY OF DETECTING STEGANOGRAMS FORMED BY ADAPTIVE STEGANOGRAPHIC METHODS WHEN USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS (p. 45–55)**

**Dmytro Progonov**

National Technical University of Ukraine  
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1124-1497>

**Mariia Yarysh**

National Technical University of Ukraine  
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8728-8745>



This paper reports a comparative analysis of accuracy in the detection of steganograms formed according to adaptive steganographic methods, using steganography detectors based on common and specialized types of artificial neural networks. The results of the review of modern convolutional neural networks applied for the tasks of digital image stegoanalysis have established that the accuracy of operating the steganography detectors based on these networks is significantly compromised when processing image packets characterized by a significant variability of statistical parameters.

The performance accuracy of steganography detectors based on the modern statistical model of container images maxSRMd2 has been investigated, as well as on the latest convolutional and «hybrid» artificial neural networks, in particular, GB-Ras and ASSAF networks, when detecting steganograms formed according to the adaptive steganographic methods HUGO and MiPOD. It was established that the use of the statistical model maxSRMd2 makes it possible to significantly (up to 30 %) improve the accuracy of steganogram detection in the case of analyzing those images that are characterized by a high level of natural noise. It was found that the use of the ASSAF network makes it possible to significantly (up to 35 %) reduce an error of steganogram detection compared to current steganography detectors based on the GB-Ras network and the maxSRMd2 statistical model. It was determined that the high accuracy of the ASSAF network-based steganography detector is maintained even in the most difficult case of image processing with high noise and poor filling of the container image with stegodata (less than 10 %).

The results reported here are of theoretical interest for designing high-precision steganography detectors capable of working under conditions of high variability in image parameters.

**Keywords:** stegoanalysis, digital images, convolutional neural networks, autoencoders.

## References

- Yaacoub, J.-P. A., Salman, O., Noura, H. N., Kaaniche, N., Chehab, A., Malli, M. (2020). Cyber-physical systems security: Limitations, issues and future trends. *Microprocessors and Microsystems*, 77, 103201. doi: <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2020.103201>
- Kopeytsev, V. (2020). Steganography in attacks on industrial enterprises. Kaspersky Lab. Available at: [https://ics-cert.kaspersky.com/media/KASPERSKY\\_Steganography\\_in\\_attacks\\_EN.pdf](https://ics-cert.kaspersky.com/media/KASPERSKY_Steganography_in_attacks_EN.pdf)
- Tan, S., Li, B. (2014). Stacked convolutional auto-encoders for steganalysis of digital images. *Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA)*, 2014 Asia-Pacific. doi: <https://doi.org/10.1109/apsipa.2014.7041565>
- Progonov, D. (2021). Performance Analysis of Stego Images Detection Using Shallow Denoising Autoencoders. 2021 IEEE 8th International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology. Kharkiv.
- Fridrich, J. (2009). *Steganography in Digital Media: Principles, Algorithms, and Applications*. Cambridge University Press. doi: <https://doi.org/10.1017/cbo9781139192903>
- Konakhovych, H. F., Prohonov, D. O., Puzyrenko, O. Yu. (2018). *Kompiuterna stehanohrافichna obrobka y analiz multymediinykh danykh*. Kyiv: Tsentr uchbovoy literatury, 558.
- Filler, T., Fridrich, J. (2010). Gibbs Construction in Steganography. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 5 (4), 705–720. doi: <https://doi.org/10.1109/tifs.2010.2077629>
- Sedighi, V., Coganne, R., Fridrich, J. (2016). Content-Adaptive Steganography by Minimizing Statistical Detectability. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 11 (2), 221–234. doi: <https://doi.org/10.1109/tifs.2015.2486744>
- Filler, T., Fridrich, J. (2011). Design of adaptive steganographic schemes for digital images. *Media Watermarking, Security, and Forensics III*. doi: <https://doi.org/10.1117/12.872192>
- Denemark, T., Sedighi, V., Holub, V., Coganne, R., Fridrich, J. (2014). Selection-channel-aware rich model for Steganalysis of digital images. 2014 IEEE International Workshop on Information Forensics and Security (WIFS). doi: <https://doi.org/10.1109/wifs.2014.7084302>
- Avcibas, I., Memon, N., Sankur, B. (2003). Steganalysis using image quality metrics. *IEEE Transactions on Image Processing*, 12 (2), 221–229. doi: <https://doi.org/10.1109/tip.2002.807363>
- Kodovsky, J., Fridrich, J., Holub, V. (2012). Ensemble Classifiers for Steganalysis of Digital Media. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 7 (2), 432–444. doi: <https://doi.org/10.1109/tifs.2011.2175919>
- Pevny, T., Bas, P., Fridrich, J. (2010). Steganalysis by Subtractive Pixel Adjacency Matrix. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 5 (2), 215–224. doi: <https://doi.org/10.1109/tifs.2010.2045842>
- Belhumeur, P. N., Hespanha, J. P., Kriegman, D. J. (1997). Eigenfaces vs. Fisherfaces: recognition using class specific linear projection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 19 (7), 711–720. doi: <https://doi.org/10.1109/34.598228>
- Murphy, K. P. (2012). *Machine Learning: A Probabilistic Perspective*. Cambridge: The MIT Press, 1104.
- Miche, Y., Bas, P., Lendasse, A. (2010). Using multiple re-embeddings for quantitative steganalysis and image reliability estimation. *TKK reports in information and computer science*. Aalto University School of Science and Technology, 19. Available at: <http://lib.tkk.fi/Reports/2010/isbn9789526032504.pdf>
- Fridrich, J., Kodovsky, J. (2012). Rich Models for Steganalysis of Digital Images. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 7 (3), 868–882. doi: <https://doi.org/10.1109/tifs.2012.2190402>
- Holub, V., Fridrich, J. (2013). Random Projections of Residuals for Digital Image Steganalysis. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 8 (12), 1996–2006. doi: <https://doi.org/10.1109/tifs.2013.2286682>
- Song, X., Liu, F., Yang, C., Luo, X., Zhang, Y. (2015). Steganalysis of Adaptive JPEG Steganography Using 2D Gabor Filters. *Proceedings of the 3rd ACM Workshop on Information Hiding and Multimedia Security*. doi: <https://doi.org/10.1145/2756601.2756608>
- Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A. (2016). *Deep Learning*. Cambridge: The MIT Press, 800.
- Aggarwal, C. C. (2018). *Neural Networks and Deep Learning: A Textbook*. Springer, 497. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-94463-0>
- Qian, Y., Dong, J., Wang, W., Tan, T. (2015). Deep learning for steganalysis via convolutional neural networks. *Media Watermarking, Security, and Forensics 2015*. doi: <https://doi.org/10.1117/12.2083479>

23. Xu, G., Wu, H.-Z., Shi, Y.-Q. (2016). Structural Design of Convolutional Neural Networks for Steganalysis. *IEEE Signal Processing Letters*, 23 (5), 708–712. doi: <https://doi.org/10.1109/lsp.2016.2548421>
24. Ye, J., Ni, J., Yi, Y. (2017). Deep Learning Hierarchical Representations for Image Steganalysis. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 12 (11), 2545–2557. doi: <https://doi.org/10.1109/tifs.2017.2710946>
25. Yedroudj, M., Comby, F., Chaumont, M. (2018). Yedroudj-Net: An Efficient CNN for Spatial Steganalysis. 2018 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). doi: <https://doi.org/10.1109/icassp.2018.8461438>
26. Boroumand, M., Chen, M., Fridrich, J. (2019). Deep Residual Network for Steganalysis of Digital Images. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 14 (5), 1181–1193. doi: <https://doi.org/10.1109/tifs.2018.2871749>
27. Zhang, R., Zhu, F., Liu, J., Liu, G. (2018) Efficient feature learning and multi-size image steganalysis based on CNN. *arXiv.org*. Available at: <https://arxiv.org/abs/1807.11428>
28. Ker, A. D., Bas, P., Böhme, R., Cogranné, R., Craver, S., Filler, T. et. al. (2013). Moving steganography and steganalysis from the laboratory into the real world. *Proceedings of the First ACM Workshop on Information Hiding and Multimedia Security – IH&MMSec '13*. doi: <https://doi.org/10.1145/2482513.2482965>
29. Bas, P., Filler, T., Pevný, T. (2011). «Break Our Steganographic System»: The Ins and Outs of Organizing BOSS. *Lecture Notes in Computer Science*, 59–70. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-24178-9\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-642-24178-9_5)
30. He, K., Zhang, X., Ren, S., Sun, J. (2015). Spatial Pyramid Pooling in Deep Convolutional Networks for Visual Recognition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 37 (9), 1904–1916. doi: <https://doi.org/10.1109/tpami.2015.2389824>
31. Reinel, T.-S., Brayan, A.-A. H., Alejandro, B.-O. M., Alejandro, M.-R., Daniel, A.-G., Alejandro, A.-G. J. et. al. (2021). GBRAS-Net: A Convolutional Neural Network Architecture for Spatial Image Steganalysis. *IEEE Access*, 9, 14340–14350. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2021.3052494>
32. Cohen, A., Cohen, A., Nissim, N. (2020). ASSAF: Advanced and Slim StegAnalysis Detection Framework for JPEG images based on deep convolutional denoising autoencoder and Siamese networks. *Neural Networks*, 131, 64–77. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2020.07.022>
33. Butora, J., Yousfi, Y., Fridrich, J. (2021). How to Pretrain for Steganalysis. *Proceedings of the 2021 ACM Workshop on Information Hiding and Multimedia Security*. doi: <https://doi.org/10.1145/3437880.3460395>
34. Reinel, T.-S., Raul, R.-P., Gustavo, I. (2019). Deep Learning Applied to Steganalysis of Digital Images: A Systematic Review. *IEEE Access*, 7, 68970–68990. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2019.2918086>
35. Cogranné, R., Giboulot, Q., Bas, P. (2019). The ALASKA Steganalysis Challenge. *Proceedings of the ACM Workshop on Information Hiding and Multimedia Security*. doi: <https://doi.org/10.1145/3335203.3335726>
36. Shullani, D., Fontani, M., Iuliani, M., Shaya, O. A., Piva, A. (2017). VISION: a video and image dataset for source identification. *EURASIP Journal on Information Security*, 2017 (1). doi: <https://doi.org/10.1186/s13635-017-0067-2>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.251570

**DEVELOPING THE ALGORITHM AND SOFTWARE FOR ACCESS TOKEN PROTECTION USING REQUEST SIGNING WITH TEMPORARY SECRET (p. 56–62)**

**Vasyl Bukovetskyi**

State Institution of Higher Education  
«Uzhhorod National University», Uzhhorod, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6754-5828>

**Vasyl Rizak**

State Institution of Higher Education  
«Uzhhorod National University», Uzhhorod, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9177-0662>

This paper proposes a method for protecting the access tokens in client-server data exchange without saving the state based on the formation of the signature of the request using a temporary secret. The devised method allows one not to transfer access tokens with each request, which would make it possible for the attacker to authenticate as a valid user when compromising the connection, for example, when using a «person in the middle» attack.

Two variants of the method have been proposed and substantiated – simplified and improved, the scope of which depends on the needs for protection and technical capabilities of their implementation. The robustness of both variants is ensured by the practical inability to select the initial input data of the hash function used to form the signature. The improved version also makes it possible to protect access tokens at the stage of receiving them and provides protection against the attack of the recurrence of the request. Initial user authentication protection is achieved by using the Diffie-Hellman protocol to exchange a secret and access token. Using query IDs and time labels prevents the query from being reused.

Advanced security for access tokens is important because having an attacker's access token gives the attacker full control over the user account. The use of SSL/TLS may not produce the desired level of protection for such important data.

It was established that the use of the proposed method does not add significant time costs. The SHA-256 hash function example shows that the relationship between message size and extra time to send and receive a message is linear. When using the proposed method in the browser, the absolute value of additional time spent for messages from 100 bytes to 2,048 KB ranges from 0.4 ms to 142 ms. Given this, the proposed method could be used without significant impact on the experience of use.

**Keywords:** access token protection, client-server message signature, authentication, session security.

#### References

1. HTTPS Encryption on the Web. Google Transparency Report. Available at: <https://transparencyreport.google.com/https/overview?hl=en>
2. Features restricted to secure contexts. Available at: [https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/Security/Secure\\_Contexts/features\\_restricted\\_to\\_secure\\_contexts](https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/Security/Secure_Contexts/features_restricted_to_secure_contexts)
3. Dorey, K., Chang-Fong, N., Essex, A. (2017). Indiscreet Logs: Diffie-Hellman Backdoors in TLS. *Proceedings 2017 Network and Distributed System Security Symposium*. doi: <https://doi.org/10.14722/ndss.2017.23006>
4. Clark, J., van Oorschot, P. C. (2013). SoK: SSL and HTTPS: Revisiting Past Challenges and Evaluating Certificate Trust



- Model Enhancements. 2013 IEEE Symposium on Security and Privacy. doi: <https://doi.org/10.1109/sp.2013.41>
5. Raman, R. S., Evdokimov, L., Wurstrow, E., Halderman, J. A., Ensafi, R. (2020). Investigating Large Scale HTTPS Interception in Kazakhstan. Proceedings of the ACM Internet Measurement Conference. doi: <https://doi.org/10.1145/3419394.3423665>
  6. Akhawe, D., Felt, A. P. (2013). Alice in Warningland: A Large-Scale Field Study of Browser Security Warning Effectiveness. 22nd USENIX Security Symposium. Washington, 257–272. Available at: <https://www.usenix.org/conference/usenixsecurity13/technical-sessions/presentation/akhawe>
  7. Alsharnouby, M., Alaca, F., Chiasson, S. (2015). Why phishing still works: User strategies for combating phishing attacks. *International Journal of Human-Computer Studies*, 82, 69–82. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2015.05.005>
  8. Chordiya, A. R., Majumder, S., Javaid, A. Y. (2018). Man-in-the-Middle (MITM) Attack Based Hijacking of HTTP Traffic Using Open Source Tools. 2018 IEEE International Conference on Electro/Information Technology (EIT). doi: <https://doi.org/10.1109/eit.2018.8500144>
  9. Kumar Baitha, A., Smitha Vinod, P. (2018). Session Hijacking and Prevention Technique. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (2.6), 193. doi: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i2.6.10566>
  10. Singh, T., Meenakshi (2020). Prevention of session hijacking using token and session id reset approach. *International Journal of Information Technology*, 12 (3), 781–788. doi: <https://doi.org/10.1007/s41870-020-00486-w>
  11. Historical trends in the usage statistics of server-side programming languages for websites (2021, November 1). W3Techs. Available at: [https://w3techs.com/technologies/history\\_overview/programming\\_language](https://w3techs.com/technologies/history_overview/programming_language)
  12. Dougherty, C. R. (2008). MD5 vulnerable to collision attacks. Vulnerability Note VU#836068. Software Engineering Institute. Carnegie Mellon University. Available at: <https://www.kb.cert.org/vuls/id/836068/>
  13. Wang, X., Yu, H. (2005). How to Break MD5 and Other Hash Functions. *Lecture Notes in Computer Science*, 19–35. doi: [https://doi.org/10.1007/11426639\\_2](https://doi.org/10.1007/11426639_2)
  14. Libed, J. M., Sison, A. M., Medina, R. P. (2018). Enhancing MD5 Collision Susceptibility. Proceedings of the 4th International Conference on Industrial and Business Engineering. doi: <https://doi.org/10.1145/3288155.3288173>
  15. Wang, X., Yin, Y. L., Yu, H. (2005). Finding Collisions in the Full SHA-1. *Lecture Notes in Computer Science*, 17–36. doi: [https://doi.org/10.1007/11535218\\_2](https://doi.org/10.1007/11535218_2)
  16. Stevens, M., Bursztein, E., Karpman, P., Albertini, A., Markov, Y. (2017). The First Collision for Full SHA-1. *Lecture Notes in Computer Science*, 570–596. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-63688-7\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-319-63688-7_19)
  17. Goldreich, O. (2001). *Foundations of Cryptography. Volume 1: Basic Tools*. Cambridge University Press. doi: <https://doi.org/10.1017/cbo9780511546891>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.252135

**DEVISING A PROCEDURE TO DETERMINE THE LEVEL OF INFORMATIONAL SPACE SECURITY IN SOCIAL NETWORKS CONSIDERING INTERRELATIONS AMONG USERS (p. 63–74)**

**Volodymyr Akhramovych**

State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6174-5300>

**German Shuklin**

State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2507-384X>

**Yuriy Pepa**

State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2073-1364>

**Tetiana Muzhanova**

State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7435-0287>

**Serhii Zozulia**

State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1733-1415>

Linear and dynamic models of the system of information security in social networks, taking into consideration the relationships between users, were studied and the resistance of the security system was analyzed.

There is a practical interest in studying dependence of the behavior of the system of social network security on the parameters of users' interaction. Dynamic systems of information security in social networks in the mathematical sense of this term were considered. A dynamic system refers to any object or process, for which the concept of state as a totality of certain magnitudes at a given time is unambiguously defined and the law that describes a change (evolution) of the initial state over time was assigned.

The network of social interactions consists of a totality of social users and a totality of the relations between them. Individuals, social groups, organizations, cities, countries can act as users. Relations imply not only communication interactions between users but also relations of the exchange of various resources and activities, including conflict relations.

As a result of research, it was found that the security systems of a social network are nonlinear. Theoretical study of the dynamic behavior of an actual object requires the creation of its mathematical model. The procedure for developing a model is to compile mathematical equations based on physical laws. These laws are stated in the language of differential equations.

Phase portraits of the data security system in the MATLAB/Multisim program, which indicate the stability of a security system in the working range of parameters even at the maximum value of the impacts, were determined.

Thus, the influence of users' interaction parameters on the parameters of the system of social network security was explored. Such study is useful and important in terms of information security in the network, since the parameters of users' interaction significantly affect, up to 100 %, the security indicator.

**Keywords:** social network, users' relationships, security system, nonlinearity, differential equations, procedure.

**References**

1. Newcomb, T. M. (1953). An approach to the study of communicative acts. *Psychological Review*, 60 (6), 393–404. doi: <https://doi.org/10.1037/h0063098>
2. Cartwright, D., Harary, F. (1956). Structural balance: a generalization of Heider's theory. *Psychological Review*, 63 (5), 277–293. doi: <https://doi.org/10.1037/h0046049>
3. Glaser, W. A. (1959). Job Mobility between Government and other Social Structures. *Political Research, Organization and Design*, 3 (3), 20–23. doi: <https://doi.org/10.1177/000276425900300307>

4. Bavelas, A. (1950). Communication Patterns in Task-Oriented Groups. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 22 (6), 725–730. doi: <https://doi.org/10.1121/1.1906679>
5. Festinger, L. (1954). A Theory of Social Comparison Processes. *Human Relations*, 7 (2), 117–140. doi: <https://doi.org/10.1177/001872675400700202>
6. Radcliffe-Brown, A. R. (1935). On the Concept of Function in Social Science. *American Anthropologist*, 37 (3), 394–402. doi: <https://doi.org/10.1525/aa.1935.37.3.02a00030>
7. Heider, F. (1946). Attitudes and Cognitive Organization. *The Journal of Psychology*, 21 (1), 107–112. doi: <https://doi.org/10.1080/00223980.1946.9917275>
8. Berkman, L. (2020). The Intelligent Control System for infocommunication networks. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8 (5), 1920–1925. doi: <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/73852020>
9. Semenov, S., Weilin, C. (2020). Testing process for penetration into computer systems mathematical model modification. *Advanced Information Systems*, 4 (3), 133–138. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.3.19>
10. Semenov, S., Weilin, C., Zhang, L., Bulba, S. (2021). Automated penetration testing method using deep machine learning technology. *Advanced Information Systems*, 5 (3), 119–127. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.3.16>
11. Cherneva, G., Khalimov, P. (2021). Mutation testing of access control policies. *Advanced Information Systems*, 5 (1), 118–122. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.1.17>
12. Liqiang, Z., Weilin, C., Rabčan, J., Davydov, V., Miroshnichenko, N. (2021). Analysis and comparative studies of software penetration testing methods. *Advanced Information Systems*, 5 (2), 136–140. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.2.20>
13. Mashkov, V. A., Barabash, O. V. (1998). Self-checking and self-diagnosis of module systems on the principle of walking diagnostic kernel. *Engineering Simulation*. Amsterdam: OPA, 15 (1), 43–51.
14. Radkevych, O. P. (2012). Konfidentsiynist personalnoi informatsiyi v sotsialnykh merezhakh. *Visnyk Vyshchoi rady yustytstsiyi*, 3 (11), 215–224.
15. Laptiev, O., Shuklin, G., Savchenko, V., Barabash, O., Musienko, A., Haidur, H. (2019). The Method of Hidden Transmitters Detection based on the Differential Transformation Model. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering (IJATCSE)*, 8 (6), 2840–2846. doi: <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2019/26862019>
16. Podobnik, V., Lovrek, I. (2015). Implicit Social Networking: Discovery of Hidden Relationships, Roles and Communities among Consumers. *Procedia Computer Science*, 60, 583–592. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.08.185>
17. Farseev, A., Nie, L., Akbari, M., Chua, T.-S. (2015). Harvesting Multiple Sources for User Profile Learning. *Proceedings of the 5th ACM on International Conference on Multimedia Retrieval*. doi: <https://doi.org/10.1145/2671188.2749381>
18. Chorley, M. J., Whitaker, R. M., Allen, S. M. (2015). Personality and location-based social networks. *Computers in Human Behavior*, 46, 45–56. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.12.038>
19. Wilson, C., Sala, A., Puttaswamy, K. P. N., Zhao, B. Y. (2012). Beyond Social Graphs. *ACM Transactions on the Web*, 6 (4), 1–31. doi: <https://doi.org/10.1145/2382616.2382620>
20. Souri, A., Nourozi, M., Rahmani, A. M., Jafari Navimipour, N. (2019). A model checking approach for user relationship management in the social network. *Kybernetes*, 48 (3), 407–423. doi: <https://doi.org/10.1108/k-02-2018-0092>
21. Grevtsov, V. E. (2010). Razvitie sotsial'nyh svyazey i otnosheniy v virtual'nyh soobschestvah. *Sotsiosfera*, 1, 59–61.
22. Kaltenbrunner, A., Scellato, S., Volkovich, Y., Laniado, D., Currie, D., Jutemar, E. J., Mascolo, C. (2012). Far from the eyes, close on the web. *Proceedings of the 2012 ACM Workshop on Workshop on Online Social Networks - WOSN '12*. doi: <https://doi.org/10.1145/2342549.2342555>
23. Akhramovych V. M. (2019). Model of Mutual Relationship of Users in Social Networks. *Modern Information Security*, 3, 42–50. doi: <https://doi.org/10.31673/2409-7292.2019.034250>
24. Asim, Y., Malik, A. K., Raza, B., Shahid, A. R. (2019). A trust model for analysis of trust, influence and their relationship in social network communities. *Telematics and Informatics*, 36, 94–116. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tele.2018.11.008>
25. Bouffard, S., Giglio, D., Zheng, Z. (2021). Social Media and Romantic Relationship: Excessive Social Media Use Leads to Relationship Conflicts, Negative Outcomes, and Addiction via Mediated Pathways. *Social Science Computer Review*, 089443932110135. doi: <https://doi.org/10.1177/08944393211013566>
26. Meleshko, Y. (2018). Method of collaborative filtration based on associative networks of users similarity. *Advanced Information Systems*, 2 (4), 55–59. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.4.09>
27. Barabash, O., Lukova-Chuiko, N., Sobchuk, V., Musienko, A. (2018). Application of Petri Networks for Support of Functional Stability of Information Systems. 2018 IEEE First International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC). doi: <https://doi.org/10.1109/saic.2018.8516747>
28. Akhramovich, V., Hrebennikov, A., Tsarenko, B., Stefurak, O. (2021). Method of calculating the protection of personal data from the reputation of users. *Sciences of Europe*, 80, 23–31. doi: <https://doi.org/10.24412/3162-2364-2021-80-1-23-31>
29. Laptiev, O., Savchenko, V., Kotenko, A., Akhramovych, V., Samosyuk, V., Shuklin, G., Biehun, A. (2021). Method of Determining Trust and Protection of Personal Data in Social Networks. *International Journal of Communication Networks and Information Security (IJCNIS)*, 13 (1), 15–21. Available at: <https://www.ijcnis.org/index.php/ijcnis/article/view/4882>
30. Mahmoudi, A., Yaakub, M. R., Bakar, A. A. (2019). The Relationship between Online Social Network Ties and User Attributes. *ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data*, 13 (3), 1–15. doi: <https://doi.org/10.1145/3314204>
31. Mahmoudi, A., Yaakub, M. R., Abu Bakar, A. (2018). New time-based model to identify the influential users in online social networks. *Data Technologies and Applications*, 52 (2), 278–290. doi: <https://doi.org/10.1108/dta-08-2017-0056>
32. Meleshko, Y., Drieiev, O., Drieieva, H. (2020). Method of identification bot profiles based on neural networks in recommendation systems. *Advanced Information Systems*, 4 (2), 24–28. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.2.05>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.253103**  
**DETERMINATION OF THE INFLUENCE OF**  
**THE CHOICE OF THE PRUNING PROCEDURE**  
**PARAMETERS ON THE LEARNING QUALITY OF**  
**A MULTILAYER PERCEPTRON (p. 75–83)**

**Oleg Galchonkov**

National University Odessa Polytechnic, Odessa, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-5468-7299>

**Alexander Nevrev**

National University Odessa Polytechnic, Odessa, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7673-5466>

**Bohdan Shevchuk**

National University Odessa Polytechnic, Odessa, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9880-5621>

**Nikolay Baranov**

National University Odessa Polytechnic, Odessa, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2463-3673>

Pruning connections in a fully connected neural network allows to remove redundancy in the structure of the neural network and thus reduce the computational complexity of its implementation while maintaining the resulting characteristics of the classification of images entering its input. However, the issues of choosing the parameters of the pruning procedure have not been sufficiently studied at the moment. The choice essentially depends on the configuration of the neural network. However, in any neural network configuration there is one or more multilayer perceptrons. For them, it is possible to develop universal recommendations for choosing the parameters of the pruning procedure. One of the most promising methods for practical implementation is considered – the iterative pruning method, which uses preprocessing of input signals to regularize the learning process of a neural network. For a specific configuration of a multilayer perceptron and the MNIST (Modified National Institute of Standards and Technology) dataset, a database of handwritten digit samples proposed by the US National Institute of Standards and Technology as a standard when comparing image recognition methods, dependences of the classification accuracy of handwritten digits and learning rate were obtained on the learning step, pruning interval, and the number of links removed at each pruning iteration. It is shown that the best set of parameters of the learning procedure with pruning provides an increase in the quality of classification by about 1 %, compared with the worst set in the studied range. The convex nature of these dependencies allows a constructive approach to finding a neural network configuration that provides the highest classification accuracy with the minimum amount of computational costs during implementation.

**Keywords:** multilayer perceptron, neural network, pruning, learning curve, weight coefficients, image classification.

**References**

- Liu, W., Wang, Z., Liu, X., Zeng, N., Liu, Y., Alsaadi, F. E. (2017). A survey of deep neural network architectures and their applications. *Neurocomputing*, 234, 11–26. doi: <http://doi.org/10.1016/j.neucom.2016.12.038>
- Tolstikhin, I., Hounsby, N., Kolesnikov, A., Beyer, L., Zhai, X., Unterthiner, T. et. al. (2021). MLP-Mixer: An all-MLP Architecture for Vision. ArXiv. Available at: <https://arxiv.org/abs/2105.01601>
- Dosovitskiy, A., Beyer, L., Kolesnikov, A., Weissenborn, D., Zhai, X., Unterthiner, T. et. al. (2021). An image is worth 16×16 words: transformers for image recognition at scale. ArXiv. Available at: <https://arxiv.org/abs/2010.11929>
- Hassani, A., Walton, S., Shah, N., Abuduweili, A., Li, J., Shi, H. (2021). Escaping the Big Data Paradigm with Compact Transformers. ArXiv. Available at: <https://arxiv.org/abs/2104.05704>
- Patches Are All You Need? (2021). Under review as a conference paper at ICLR 2022. Available at: <https://openreview.net/pdf?id=TVHS5Y4dNvM>
- Guo, M.-H., Liu, Z.-N., Mu, T.-J., Hu, S.-M. (2021). Beyond Self-attention: External Attention using Two Linear Layers for Visual Tasks. ArXiv. Available at: <https://arxiv.org/abs/2105.02358>
- Lee-Thorp, J., Ainslie, J., Eckstein, I., Ontañón, S. (2021). FNet: Mixing Tokens with Fourier Transforms. ArXiv. Available at: <https://arxiv.org/abs/2105.03824>
- Liu, H., Dai, Z., So, D. R., Le, Q. V. (2021). Pay Attention to MLPs. ArXiv. Available at: <https://arxiv.org/abs/2105.08050>
- Liu, Z., Lin, Y., Cao, Y., Hu, H., Wei, Y., Zhang, Z., Lin, S., Guo, B. (2021). Swin Transformer: Hierarchical Vision Transformer using Shifted Windows. ArXiv. Available at: <https://arxiv.org/abs/2103.14030>
- Denil, M., Shakibi, B., Dinh, L., Ranzato, M. A., Freitas, N. (2014). Predicting Parameters in Deep Learning. ArXiv. Available at: <https://arxiv.org/abs/1306.0543>
- Blalock, D., Gonzalez Ortiz, J. J., Frankle, J., Gutttag, J. (2020). What is the state of neural network pruning? ArXiv. Available at: <https://arxiv.org/abs/2003.03033>
- Han, S., Pool, J., Tran, J., Dally, W. J. (2015). Learning both-Weights and Connections for Efficient Neural Networks. ArXiv. Available at: <https://arxiv.org/pdf/1506.02626v3.pdf>
- LeCun, Y., Denker, J. S., Solla, S. A. (1990). Optimal Brain Damage. NIPS. Available at: <http://yann.lecun.com/exdb/publis/pdf/lecun-90b.pdf>
- Hinton, G., Vinyals, O., Dean, J. (2015). Distilling the knowledge in a neural network. NIPS Deep Learning and Representation Learning Workshop. ArXiv. Available at: <https://arxiv.org/abs/1503.02531>
- Li, C., Peng, J., Yuan, L., Wang, G., Liang, X., Lin, L., Chang, X. (2020). Block-Wisely Supervised Neural Architecture Search With Knowledge Distillation. 2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). doi: <http://doi.org/10.1109/cvpr42600.2020.00206>
- Aflalo, Y., Noy, A., Lin, M., Friedman, I., Zelnik, L. (2020). Knapsack Pruning with Inner Distillation. ArXiv. Available at: <https://arxiv.org/abs/2002.08258>
- Wang, Z., Li, F., Shi, G., Xie, X., Wang, F. (2020). Network pruning using sparse learning and genetic algorithm. *Neurocomputing*, 404, 247–256. doi: <http://doi.org/10.1016/j.neucom.2020.03.082>
- Denton, E. L., Zaremba, W., Bruna, J., LeCun, Y., Fergus, R. (2014). Exploiting linear structure within convolutional networks for efficient evaluation. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 1269–1277.
- Li, Y., Gu, S., Mayer, C., Van Gool, L., Timofte, R. (2020). Group Sparsity: The Hinge Between Filter Pruning and Decomposition for Network Compression. 2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). doi: <http://doi.org/10.1109/cvpr42600.2020.00804>
- Han, S., Mao, H., Dally, W. J. (2015). Deep compression: compressing deep neural networks with pruning, trained quantization and Huffman coding. ArXiv. Available at: <https://arxiv.org/abs/1510.00149>
- Qiu, J., Wang, J., Yao, S., Guo, K., Li, B., Zhou, E. et. al. (2016). Going Deeper with Embedded FPGA Platform for Convolutional Neural Network. *Proceedings of the 2016 ACM/SIGDA International Symposium on Field-Pro-*



- grammable Gate Arrays. Monterey. doi: <http://doi.org/10.1145/2847263.2847265>
22. Paupamah, K., James, S., Klein, R. (2020). Quantisation and Pruning for Neural Network Compression and Regularisation. 2020 International SAUPEC/RobMech/PRASA Conference. doi: <http://doi.org/10.1109/saupec/robmech/prasa48453.2020.9041096>
  23. Louizos, C., Welling, M., Kingma, D. P. (2018). Learning sparse neural networks through l0 regularization. ICLR 2018. ArXiv. Available at: <https://arxiv.org/abs/1712.01312>
  24. Li, J., Qi, Q., Wang, J., Ge, C., Li, Y., Yue, Z., Sun, H. (2019). OICSR: Out-In-Channel Sparsity Regularization for Compact Deep Neural Networks. 2019 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). doi: <http://doi.org/10.1109/cvpr.2019.00721>
  25. Gomez, A. N., Zhang, I., Kamalakara, S. R., Madaan, D., Swersky, K., Gal, Y. et. al. (2019). Learning Sparse Networks Using Targeted Dropout. ArXiv. Available at: <https://arxiv.org/abs/1905.13678>
  26. Tabik, S., Peralta, D., Herrera-Poyatos, A., Herrera, F. (2017). A snapshot of image pre-processing for convolutional neural networks: case study of MNIST. International Journal of Computational Intelligence Systems, 10 (1), 555–568. doi: <http://doi.org/10.2991/ijcis.2017.10.1.38>
  27. Cireşan, D. C., Meier, U., Gambardella, L. M., Schmidhuber, J. (2010). Deep, Big, Simple Neural Nets for Handwritten Digit Recognition. Neural Computation, 22 (12), 3207–3220. doi: [http://doi.org/10.1162/neco\\_a\\_00052](http://doi.org/10.1162/neco_a_00052)
  28. Simard, P. Y., Steinkraus, D., Platt, J. C. (2003). Best practices for convolutional neural networks applied to visual document analysis. Seventh International Conference on Document Analysis and Recognition, 2003. Proceedings. San Mateo: IEEE Computer Society Press, 958–962. doi: <http://doi.org/10.1109/icdar.2003.1227801>
  29. Galchonkov, O., Nevrev, A., Glava, M., Babych, M. (2020). Exploring the efficiency of the combined application of connection pruning and source data preprocessing when training a multilayer perceptron. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (9 (104)), 6–13. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.200819>
  30. LeCun, Y., Cortes, C., Burges, C. J. C. The mnist database of handwritten digits. Available at: <http://yann.lecun.com/exdb/mnist/>
  31. 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: 10.15587/1729-4061.2022.252801

**IDENTIFYING THE INFLUENCE OF TRANSFER LEARNING METHOD IN DEVELOPING AN END-TO-END AUTOMATIC SPEECH RECOGNITION SYSTEM WITH A LOW DATA LEVEL (p. 84–92)**

**Orken Mamyrbayev**

Institute of Information and Computational Technologies,  
Almaty, Republic of Kazakhstan

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

**Keylan Alimhan**

L. N. Gumilyov Eurasian National University,  
Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0766-2229>

**Dina Oralbekova**

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4975-6493>

**Akbayan Bekarystankyzy**

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3984-2718>

**Bagashar Zhumazhanov**

Institute of Information and Computational Technologies,  
Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5035-9076>

Ensuring the best quality and performance of modern speech technologies, today, is possible based on the widespread use of machine learning methods. The idea of this project is to study and implement an end-to-end system of automatic speech recognition using machine learning methods, as well as to develop new mathematical models and algorithms for solving the problem of automatic speech recognition for agglutinative (Turkic) languages.

Many research papers have shown that deep learning methods make it easier to train automatic speech recognition systems that use an end-to-end approach. This method can also train an automatic speech recognition system directly, that is, without manual work with raw signals. Despite the good recognition quality, this model has some drawbacks. These disadvantages are based on the need for a large amount of data for training. This is a serious problem for low-data languages, especially Turkic languages such as Kazakh and Azerbaijani. To solve this problem, various methods are needed to apply. Some methods are used for end-to-end speech recognition of languages belonging to the group of languages of the same family (agglutinative languages). Method for low-resource languages is transfer learning, and for large resources – multi-task learning. To increase efficiency and quickly solve the problem associated with a limited resource, transfer learning was used for the end-to-end model. The transfer learning method helped to fit a model trained on the Kazakh dataset to the Azerbaijani dataset. Thereby, two language corpora were trained simultaneously. Conducted experiments with two corpora show that transfer learning can reduce the symbol error rate, phoneme error rate (PER), by 14.23 % compared to baseline models (DNN+HMM, WaveNet, and CNC+LM). Therefore, the realized model with the transfer method can be used to recognize other low-resource languages.

**Keywords:** ASR, transfer learning, end-to-end, low-resource language, connectionist temporal classification, attention.

**References**

1. Perera, F. P., Tang, D., Rauh, V., Lester, K., Tsai, W. Y., Tu, Y. H. et. al. (2005). Relationships among Polycyclic Aromatic Hydrocarbon-DNA Adducts, Proximity to the World Trade Center, and Effects on Fetal Growth. Environmental Health Perspectives, 113 (8), 1062–1067. doi: <https://doi.org/10.1289/ehp.10144>
2. Jaitly, N., Hinton, G. (2011). Learning a better representation of speech soundwaves using restricted boltzmann machines. 2011 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). doi: <https://doi.org/10.1109/icassp.2011.5947700>
3. Rustamov, S., Gasimov, E., Hasanov, R., Jahangirli, S., Mustafayev, E., Usikov, D. (2018). Speech recognition in flight

- simulator. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 459, 012005. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/459/1/012005>
4. Zhang, Y., Pezeshki, M., Brakel, P., Zhang, S., Laurent, C., Bengio, Y., Courville, A. (2016). Towards End-to-End Speech Recognition with Deep Convolutional Neural Networks. Interspeech 2016. doi: <https://doi.org/10.21437/interspeech.2016-1446>
  5. Rao, K., Peng, F., Sak, H., Beaufays, F. (2015). Grapheme-to-phoneme conversion using Long Short-Term Memory recurrent neural networks. 2015 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). doi: <https://doi.org/10.1109/icassp.2015.7178767>
  6. Alsayadi, H. A., Abdelhamid, A. A., Hegazy, I., Fayed, Z. T. (2021). Arabic speech recognition using end-to-end deep learning. IET Signal Processing, 15 (8), 521–534. doi: <https://doi.org/10.1049/sil2.12057>
  7. Chorowski, J. K., Bahdanau, D., Serdyuk, D., Cho, K., Bengio, Y. (2015). Attention-based models for speech recognition. Advances in Neural Information Processing Systems, 577–585.
  8. Putri, F. Y., Puji Lestari, D., Widyantoro, D. H. (2018). Long Short-Term Memory Based Language Model for Indonesian Spontaneous Speech Recognition. 2018 International Conference on Computer, Control, Informatics and Its Applications (IC3INA). doi: <https://doi.org/10.1109/ic3ina.2018.8629500>
  9. Zou, W., Jiang, D., Zhao, S., Yang, G., Li, X. (2018). Comparable Study Of Modeling Units For End-To-End Mandarin Speech Recognition. 2018 11th International Symposium on Chinese Spoken Language Processing (ISCSLP). doi: <https://doi.org/10.1109/iscslp.2018.8706661>
  10. Watanabe, S., Hori, T., Karita, S., Hayashi, T., Nishitoba, J., Unno, Y. et. al. (2018). ESPnet: End-to-End Speech Processing Toolkit. Interspeech 2018. doi: <https://doi.org/10.21437/interspeech.2018-1456>
  11. Mamyrbayev, O., Alimhan, K., Zhumazhanov, B., Turdalykyzy, T., Gusmanova, F. (2020). End-to-End Speech Recognition in Agglutinative Languages. Lecture Notes in Computer Science, 391–401. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-42058-1\\_33](https://doi.org/10.1007/978-3-030-42058-1_33)
  12. Asefisaray, B., Haznedaroglu, A., Erden, M., Arslan, L. M. (2018). Transfer learning for automatic speech recognition systems. 2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU). doi: <https://doi.org/10.1109/siu.2018.8404628>
  13. Heigold, G., Vanhoucke, V., Senior, A., Nguyen, P., Ranzato, M., Devin, M., Dean, J. (2013). Multilingual acoustic models using distributed deep neural networks. 2013 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. doi: <https://doi.org/10.1109/icassp.2013.6639348>
  14. Yi, J., Tao, J., Wen, Z., Bai, Y. (2019). Language-Adversarial Transfer Learning for Low-Resource Speech Recognition. IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, 27 (3), 621–630. doi: <https://doi.org/10.1109/taslp.2018.2889606>
  15. Palaz, D., Magimai-Doss, M., Collobert, R. (2019). End-to-end acoustic modeling using convolutional neural networks for HMM-based automatic speech recognition. Speech Communication, 108, 15–32. doi: <https://doi.org/10.1016/j.specom.2019.01.004>
  16. Dokuz, Y., Tufekci, Z. (2021). Mini-batch sample selection strategies for deep learning based speech recognition. Applied Acoustics, 171, 107573. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107573>
  17. Khassanov, Y., Mussakhoyayeva, S., Mirzakhmetov, A., Adiyev, A., Nurpeiissov, M., Varol, H. A. (2021). A Crowdsourced Open-Source Kazakh Speech Corpus and Initial Speech Recognition Baseline. Proceedings of the 16th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics: Main Volume. doi: <https://doi.org/10.18653/v1/2021.eacl-main.58>
  18. Beibut, A. (2020). Development of Automatic Speech Recognition for Kazakh Language using Transfer Learning. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering, 9 (4), 5880–5886. doi: <https://doi.org/10.30534/ijatce/2020/249942020>
  19. Markovnikov, N., Kipyatkova, I. (2019). Investigating Joint CTC-Attention Models for End-to-End Russian Speech Recognition. Lecture Notes in Computer Science, 337–347. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-26061-3\\_35](https://doi.org/10.1007/978-3-030-26061-3_35)
  20. Fujita, Y., Watanabe, S., Omachi, M., Chang, X. (2020). Insertion-Based Modeling for End-to-End Automatic Speech Recognition. Interspeech 2020. doi: <https://doi.org/10.21437/interspeech.2020-1619>
  21. Zeng, Z., Pham, V. T., Xu, H., Khassanov, Y., Chng, E. S., Ni, C., Ma, B. (2021). Leveraging Text Data Using Hybrid Transformer-LSTM Based End-to-End ASR in Transfer Learning. 2021 12th International Symposium on Chinese Spoken Language Processing (ISCSLP). doi: <https://doi.org/10.1109/iscslp49672.2021.9362086>
  22. Qin, C.-X., Zhang, W.-L., Qu, D. (2019). A new joint CTC-attention-based speech recognition model with multi-level multi-head attention. EURASIP Journal on Audio, Speech, and Music Processing, 2019 (1). doi: <https://doi.org/10.1186/s13636-019-0161-0>
  23. O'Brien, M. G., Derwing, T. M., Cucchiari, C., Hardison, D. M., Mixdorff, H., Thomson, R. I. et. al. (2018). Directions for the future of technology in pronunciation research and teaching. Journal of Second Language Pronunciation, 4 (2), 182–207. doi: <https://doi.org/10.1075/jslp.17001.obr>
  24. Tejedor-García, C., Cardeñoso-Payo, V., Escudero-Mancebo, D. (2021). Automatic Speech Recognition (ASR) Systems Applied to Pronunciation Assessment of L2 Spanish for Japanese Speakers. Applied Sciences, 11 (15), 6695. doi: <https://doi.org/10.3390/app11156695>
  25. Ding, C. H. Q., Tao Li, Jordan, M. I. (2010). Convex and Semi-Nonnegative Matrix Factorizations. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 32 (1), 45–55. doi: <https://doi.org/10.1109/tpami.2008.277>
  26. Schuller, B., Weninger, F., Wollmer, M., Sun, Y., Rigoll, G. (2010). Non-negative matrix factorization as noise-robust feature extractor for speech recognition. 2010 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. doi: <https://doi.org/10.1109/icassp.2010.5495567>
  27. Mamyrbayev, O., Turdalyuly, M., Mekebayev, N., Alimhan, K., Kydyrbekova, A., Turdalykyzy, T. (2019). Automatic Recognition of Kazakh Speech Using Deep Neural Networks. Lecture Notes in Computer Science, 465–474. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-14802-7\\_40](https://doi.org/10.1007/978-3-030-14802-7_40)
  28. Mamyrbayev, O., Oralbekova, D., Kydyrbekova, A., Turdalykyzy, T., Bekarystankyzy, A. (2021). End-to-End Model Based on RNN-T for Kazakh Speech Recognition. 2021 3rd International Conference on Computer Communication and the Internet (ICCCI). doi: <https://doi.org/10.1109/iccci51764.2021.9486811>
  29. Mamyrbayev, O., Kydyrbekova, A., Alimhan, K., Oralbekova, D., Zhumazhanov, B., Nuranbayeva, B. (2021). Development of security systems using DNN and i & x-vector classifiers.

- Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (9(112)), 32–45. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239186>
30. Van Den Oord, A., Dieleman, S., Zen, H. et. al. (2016). Wavenet: A generative model for raw audio. arXiv. Available at: <https://arxiv.org/pdf/1609.03499.pdf>
  31. Zeghidour, N., Usunier, N., Kokkinos, I., Schaiz, T., Synnaeve, G., Dupoux, E. (2018). Learning Filterbanks from Raw Speech for Phone Recognition. 2018 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). doi: <https://doi.org/10.1109/icassp.2018.8462015>
  32. Kermanshahi, M. A., Akbari, A., Nasersharif, B. (2021). Transfer Learning for End-to-End ASR to Deal with Low-Resource Problem in Persian Language. 2021 26th International Computer Conference, Computer Society of Iran (CSICC). doi: <https://doi.org/10.1109/csicc52343.2021.9420540>
  33. Qin, C.-X., Qu, D., Zhang, L.-H. (2018). Towards end-to-end speech recognition with transfer learning. EURASIP Journal on Audio, Speech, and Music Processing, 2018 (1). doi: <https://doi.org/10.1186/s13636-018-0141-9>

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.253530**  
**DEVELOPMENT OF A METHOD FOR CHECKING VULNERABILITIES OF A CORPORATE NETWORK USING BERNSTEIN TRANSFORMATIONS (p. 93–101)**

**Roman Kyrychok**

Borys Hrinchenko Kyiv University, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9919-9691>

**Oleksandr Laptiev**

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4194-402X>

**Rostyslav Lisnevskiy**

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9006-6366>

**Valerii Kozlovskiy**

National Aviation University, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8301-5501>

**Vitaliy Klobukov**

National Aviation University, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7486-9695>

One of the leading areas of cybersecurity of communication networks is considered – the introduction of preventive mechanisms, among which the most promising are the methods of active security analysis. These methods allow, in addition to timely detection of vulnerabilities of the target system (analyzed system), to confirm the possibility of their implementation, that is, to validate vulnerabilities by simulating the real actions of a potential attacker. The urgent need to validate vulnerabilities out of the many identified is caused by the fact that some of them can only be theoretical, while others are exploited using malicious scripts (exploits). At the same time, the process of validating vulnerabilities is practically not studied. That is why the work carried out an experimental study of the functioning of modern tools for exploiting vulnerabilities. Based on the observations, general quantitative characteristics of the vulnerability validation process were identified. A mathematical model for the analysis of the above characteristics based on Bernstein

polynomials has been developed. It is the polynomial representation of the procedure for confirming the possibility of implementing the identified vulnerabilities that makes it possible to describe the dynamics of this process, taking into account the complex and volatile nature of the environment. Analytical dependencies are obtained for the number of cases of successful and negative confirmation of vulnerabilities. In particular, negative validation cases include simply failed attempts to validate vulnerabilities, as well as attempts that resulted in critical errors on the target system during the rational cycle of validating the identified vulnerabilities. The proposed dependencies make it possible to construct the probability distribution laws for the above characteristics of the vulnerability testing process.

**Keywords:** active security analysis, exploitation of vulnerabilities, target system, corporate network security.

## References

1. State of Cybersecurity Resilience 2021: How aligning security and the business creates cyber resilience. Accenture. Available at: [https://www.accenture.com/\\_acnmedia/PDF-165/Accenture-State-Of-Cybersecurity-2021.pdf](https://www.accenture.com/_acnmedia/PDF-165/Accenture-State-Of-Cybersecurity-2021.pdf)
2. Bernshteyn, S. (1952). Dokazatel'stvo teoremy Veyershttrassa, osnovannoe na teorii veroyatnostey. Sbornik sochineniy. Vol. 1. Moscow: AN SSSR.
3. Malozemov, V. (2019). O mnogochlenakh Bernshteyna. Seminar «CNSA & NDO». Available at: [http://apmath.spbu.ru/cn-sa/pdf/2019/Malozemov\\_BernsteinPolynom\\_17sep2019.pdf](http://apmath.spbu.ru/cn-sa/pdf/2019/Malozemov_BernsteinPolynom_17sep2019.pdf)
4. Milov, O., Yevseiev, S., Ivanchenko, Y., Milevskiy, S., Nesterov, O., Puchkov, O. et. al. (2019). Development of the model of the antagonistic agents behavior under a cyber conflict. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (9 (100)), 6–19. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.175978>
5. Barabash, O. (2020). The Indirect method of obtaining Estimates of the Parameters of Radio Signals of covert means of obtaining Information. International Journal of Emerging Trends in Engineering Research, 8 (8), 4133–4139. doi: <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/17882020>
6. Laptiev, O., Vitalii, S., Yevseiev, S., Haidur, H., Gakhov, S., Hohonians, S. (2020). The new method for detecting signals of means of covert obtaining information. 2020 IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT). doi: <https://doi.org/10.1109/atit50783.2020.9349322>
7. Savchenko, V., Laptiev, O., Kolos, O., Lisnevskiy, R., Ivanikova, V., Ablazov, I. (2020). Hidden Transmitter Localization Accuracy Model Based on Multi-Position Range Measurement. 2020 IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT). doi: <https://doi.org/10.1109/atit50783.2020.9349304>
8. Korchenko, A., Breslavskiy, V., Yevseiev, S., Zhumangaliev, N., Zvorych, A., Kazmirchuk, S. et. al. (2021). Development of a method for constructing linguistic standards for multi-criteria assessment of honeypot efficiency. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (2 (109)), 14–23. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225346>
9. Laptiev, O., Savchenko, V., Pravdyvyi, A., Ablazov, I., Lisnevskiy, R., Kolos, O., Hudyma, V. (2021). Method of Detecting Radio Signals using Means of Covert by Obtaining Information on the basis of Random Signals Model. International Journal of Communication Networks and Information Security (IJCNIS), 13 (1), 48–54. Available at: <https://www.ijcnis.org/index.php/ijcnis/article/view/4902>



10. Hryshchuk, R., Korobiichuk, I., Ivanchenk, S., Roma, O., Golishevsky, A. (2019). The Throughput of Technical Channels as an Indicator of Protection Discrete Sources from Information Leakage. *Computer Modeling and Intelligent Systems*, 2353, 523–532.
11. Mashkov, O. A., Sobchuk, V. V., Barabash, O. V., Dakhno, N. B. et. al. (2019). Improvement of variational-gradient method in dynamical systems of automated control for integro-differential models. *Mathematical Modeling and Computing*, 6(2), 344–357. doi: <https://doi.org/10.23939/mmc2019.02.344>
12. Barabash, O., Dakhno, N., Shevchenko, H., Sobchuk, V. (2018). Integro-Differential Models of Decision Support Systems for Controlling Unmanned Aerial Vehicles on the Basis of Modified Gradient Method. 2018 IEEE 5th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC). doi: <https://doi.org/10.1109/msnmc.2018.8576310>
13. Korotin, S., Kravchenko, Y., Starkova, O., Herasymenko, K., Mykolaichuk, R. (2019). Analytical Determination of the Parameters of the Self-Tuning Circuit of the Traffic Control System on the Limit of Vibrational Stability. 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T). doi: <https://doi.org/10.1109/picst47496.2019.9061256>
14. Rakushev, M., Permiakov, O., Lavrinchuk, O., Tarasenko, S., Kovbasiuk, S., Kravchenko, Y. (2019). Numerical Method of Integration on the Basis of Multidimensional Differential-Taylor Transformations. 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T). doi: <https://doi.org/10.1109/picst47496.2019.9061339>
15. Barabash, O., Lukova-Chuiko, N., Sobchuk, V., Musienko, A. (2018). Application of Petri Networks for Support of Functional Stability of Information Systems. 2018 IEEE First International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC). doi: <https://doi.org/10.1109/saic.2018.8516747>
16. Kravchenko, Y., Leshchenko, O., Dakhno, N., Trush, O., Makhovych, O. (2019). Evaluating the Effectiveness of Cloud Services. 2019 IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT). doi: <https://doi.org/10.1109/atit49449.2019.9030430>
17. Musienko, A. P., Serdyuk, A. S. (2013). Lebesgue-type inequalities for the de la Vallée-poussin sums on sets of entire functions. *Ukrainian Mathematical Journal*, 65 (5), 709–722. doi: <https://doi.org/10.1007/s11253-013-0808-4>
18. Saiko, V., Nakonechnyi, V., Narytnyk, T., Brailovskyi, M., Lukova-Chuiko, N. (2020). Terahertz Range Interconnecting Line For LEO-System. 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET). doi: <https://doi.org/10.1109/tcset49122.2020.235468>
19. Ruban, I., Martovytskyi, V., Lukova-Chuiko, N. (2018). Approach to Classifying the State of a Network Based on Statistical Parameters for Detecting Anomalies in the Information Structure of a Computing System. *Cybernetics and Systems Analysis*, 54 (2), 302–309. doi: <https://doi.org/10.1007/s10559-018-0032-1>
20. Lakhno, V., Kozlovskii, V., Boiko, Y., Mishchenko, A., Opirskyy, I. (2017). Management of information protection based on the integrated implementation of decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (89)), 36–42. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.111081>
21. Kozlovskiy, V., Lakhno, V., Kasatkin, D., Boiko, Y., Kravchuk, P., Lishchynovska, N. (2019). A model and algorithm for detecting spyware in medical information systems. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 10 (1), 287–295. Available at: [https://iaeme.com/MasterAdmin/Journal\\_uploads/IJMET/VOLUME\\_10\\_ISSUE\\_1/IJMET\\_10\\_01\\_029.pdf](https://iaeme.com/MasterAdmin/Journal_uploads/IJMET/VOLUME_10_ISSUE_1/IJMET_10_01_029.pdf)
22. Lakhno, V. A., Kasatkin, D. Y., Blozva, A. I., Kozlovskiy, V., Balanyuk, Y., Boiko, Y. (2020). The Development of a Model of the Formation of Cybersecurity Outlines Based on Multi Criteria Optimization and Game Theory. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 10–22. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-63319-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-63319-6_2)
23. Barabash, O., Kopiika, O., Zamrii, I., Sobchuk, V., Musienko, A. (2018). Fraktal and Differential Properties of the Inversor of Digits of  $Q$  s-Representation of Real Number. *Modern Mathematics and Mechanics*, 79–95. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-96755-4\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-96755-4_5)
24. Samoilenko, A. M., Samoilenko, V. G., Sobchuk, V. V. (1999). On periodic solutions of the equation of a nonlinear oscillator with pulse influence. *Ukrainian Mathematical Journal*, 51(6), 926–933. doi: <https://doi.org/10.1007/bf02591979>
25. Sobchuk, V., Pichkur, V., Barabash, O., Laptiev, O., Igor, K., Zidan, A. (2020). Algorithm of Control of Functionally Stable Manufacturing Processes of Enterprises. 2020 IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT). doi: <https://doi.org/10.1109/atit50783.2020.9349332>
26. Yudin, O., Sydorenko, V., Gnatyuk, S., Verkhovets, O. (2021). Model of the quantitative criterion calculation for security assessment of the information and telecommunications systems in the critical infrastructure of the state. *Advanced Information Systems*, 5 (4), 109–115. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.4.15>
27. Semenov, S., Weilin, C., Zhang, L., Bulba, S. (2021). Automated penetration testing method using deep machine learning technology. *Advanced Information Systems*, 5 (3), 119–127. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.3.16>
28. Operating System Market Share(11.2019-10.2020). Available at: <https://netmarketshare.com/operating-system-market-share.aspx>
29. Desktop Windows Version Market Share Worldwide (01.2021-01.2022). Available at: <https://gs.statcounter.com/os-version-market-share/windows/desktop/worldwide>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.252561

### ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА ШВИДКОДІЇ ЦИФРОВОГО СПЕКТРАЛЬНО-КОРЕЛЯЦІЙНОГО МЕТОДУ ВИМІРЮВАННЯ ЗАТРИМКИ РАДІОСИГНАЛІВ ТА ПЕЛЕНГУВАННЯ (с. 6–14)

Akezhan Sabibolda, В. В. Ципоренко, В. Г. Ципоренко, Nurzhigit Smailov, Kanat Zhunussov, Askar Abdykadyrov, Moldir Baigulbayeva, Nurzak Duisenov

Перспективним напрямком розвитку пасивних радіолокаційних станцій моніторингу є підвищення їх ефективності за рахунок підвищення швидкодії. Для цифрового спектрально-кореляційного методу визначення затримки радіосигналів та пеленгування отримано аналітичні вирази для дисперсії оцінки затримки прийому сигналу радіоканалами та направлення на джерело радіовипромінювання. Особливістю досліджуваного методу є використання двоетапного часового та просторового спектрального аналізу взаємного спектру, одноітераційний кореляційний аналіз.

Оцінено тривалість оцінки пеленгу через загальну кількість операцій множення з накопиченням. Запропонований метод при виграші у 27 разів за швидкодією має несуттєве зниження точності порівняно з оптимальним за рахунок енергетичних втрат сигналу.

В результаті моделювання отримано залежності середнього квадратичного відхилення оцінки пеленгу та затримки від відношення сигнал/шум, типу вікна спектрального аналізу, величини антенної бази.

Середнє квадратичне відхилення оцінки пеленгу залежить від відношення сигнал/шум та змінюється в діапазоні значень  $[0,08; 0,034]^\circ$  при зміні сигнал/шум  $[-10; 40]$  дБ. При збільшенні сигнал/шум похибка зменшується за гіперболічною залежністю. Середнє квадратичне відхилення оцінки затримки залежить від відношення сигнал/шум і змінюється аналогічно до похибки оцінки напрямку та знаходиться в діапазоні значень  $[18,176; 1,56]$  нс, що відповідає похибці  $[0,637; 0,055]$  %. Похибка оцінки пеленгу в залежності від величини антенної бази зменшується за експонентом у межах  $[1,6; 0,03]^\circ$  зі збільшенням антенної бази в діапазоні від 200 до 7500 м.

Отримані результати можна використовувати для параметричної оптимізації спектрально-кореляційних радіопеленгаторів пасивних радіолокаційних станцій моніторингу.

**Ключові слова:** дисперсія оцінки, точність, швидкодія пеленгування, спектрально-кореляційний метод, антенна база.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.252988

### РОЗРОБКА МОДИФІКАЦІЇ МЕТОДУ ПОБУДОВИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ З ВИКОРИСТАННЯМ СТАТИЧНИХ І ДИНАМІЧНИХ ДАТЧИКІВ (с. 15–23)

В. Я. Петрівський, В. Л. Шевченко, С. П. Євсєєв, О. В. Мілов, О. А. Лаптев, О. С. Бичков, В. А. Федорієнко, М. В. Ткаченко, О. А. Курченко, І. Р. Опірський

У зв'язку з поширенням використання сенсорів та сенсорних мереж у задачах покриття території актуальними критеріями є максимізація покриття та мінімізація енерговитрат. Саме одночасна відповідність мережі даним критеріям є актуальною проблемою у сучасному технологічному світі. Запропоновано модифікацію методу побудови енергоефективних сенсорних мереж шляхом введення додаткового критерію мінімізації кількості сенсорів та обмеження кількості використаних сенсорів, який дозволяє зменшити енерговитрати сенсорних мереж на 19 %. У отриманій оптимізаційній задачі критеріями оптимальності виступають функції мінімізації площі непокритої території, значення енергоспоживання та кількості датчиків. Оптимальне рішення формується у вигляді пар значень радіусу покриття та рівня перетину зон покриття з використанням яких досягається максимізація покриття з мінімізацією енерговитрат та кількості використаних сенсорів. Для розв'язання поставленої проблеми використано метод згортки параметрів та генетичний алгоритм. У випадку динамічних датчиків проблема полягає у відшуванні такої траєкторії руху датчику, яка забезпечує максимальний обліт території, але є мінімальною довжини. Для знаходження необхідної траєкторії запропоновано сітковий алгоритм. Представлений алгоритм полягає у розбитті території на вузли та оцінці значення покритої території датчиком у даному вузлі. Після формування оцінок використано пошук гамільтонового шляху. Розглянуто випадок багатозв'язності території з можливістю перетворення її до однозв'язної. Запропоновано схему знаходження параметрів енергоефективного покриття території з використанням статичних та динамічних сенсорів.

**Ключові слова:** сенсорна мережа, покриття території, енергоефективність сенсорних мереж, оптимальна траєкторія обльоту.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.252876

### УДОСКОНАЛЕННЯ МОДЕЛІ ДЕТЕКТУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ НА АЕРОФОТОЗНІМКАХ І ВІДЕО В БЕЗПІЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСАХ (с. 24–34)

В. І. Слюсар, М. М. Проценко, А. А. Чернуха, В. В. Мелькін, О. О. Білобородов, М. О. Самойленко, О. О. Кравченко, Г. І. Калиниченко, А. І. Роговий, М. М. Солощук

Розглянуто модель детектування об'єктів на аерофотознімках та відео з використанням нейронної мережі у безпілотних авіаційних комплексах. Розвиток систем штучного інтелекту та комп'ютерного зору безпілотних систем (дронів, роботів) потребує удосконалення моделей детектування (виявлення), розпізнавання об'єктів на зображеннях та у відеопотоку. Результати відео та аерофотозйомки в безпілотних авіаційних комплексах обробляються оператором у ручному режимі, але є об'єктивні труднощі, пов'язані з обробкою оператором великої кількості відео та аерофотознімків, тому доцільно цей процес автоматизувати. Аналіз моделей нейронних мереж показав, що для виконання завдання детектування об'єктів на аерофотознімках та відео, як базова модель, найбільш підходить модель YOLOv5x (США). Для навчання цієї моделі використовується набір Microsoft COCO (США). Цей набір містить

понад 200000 зображень за 80 категоріями. Для вдосконалення моделі YOLOv5x проведено навчання нейронної мережі набором зображень VisDrone 2021 (Китай) з вибором оптимальних параметрів навчання: алгоритм оптимізації – SGD; початкова швидкість навчання (крок) – 0,0005, число епох – 25. В результаті отримано нову модель детектування об'єктів на аерофотознімках та відео із запропонованою назвою VisDroneYOLOv5x. Проведено дослідження ефективності удосконаленої моделі з використанням аерофотознімків та відео з набору VisDrone 2021. Для оцінки ефективності моделі в якості основних показників обрано: точність; чутливість; оцінка усередненої точності. Використання згорткової нейронної мережі дозволило автоматизувати процес детектування об'єктів на аерофотознімках та відео у безпілотних авіаційних комплексах.

**Ключові слова:** нейронна мережа, детектування об'єктів, VisDrone 2021, Microsoft COCO, YOLOv5x, безпілотний авіаційний комплекс.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.251637**

#### **РОЗРОБКА МЕТОДИКИ НАВЧАННЯ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ (с. 35–44)**

**Qasim Abbood Mahdi, A. В. Шишацький, О. А. Симоненко, Н. М. Протас, О. О. Троцько, В. С. Кивлюк, А. А. Шульгін, П. М. Стещенко, Е. С. Остапчук, Т. І. Голенковська**

Розроблено методику навчання штучних нейронних мереж для інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень. Відмінна особливість запропонованої методики полягає в тому, що вона проводить навчання не тільки синаптичних ваг штучної нейронної мережі, але й виду та параметрів функції належності. В разі неможливості забезпечити задану якість функціонування штучних нейронних мереж за рахунок навчання параметрів штучної нейронної мережі відбувається навчання архітектури штучних нейронних мереж. Вибір архітектури, виду та параметрів функції належності відбувається із врахуванням обчислювальних ресурсів засобу та із врахуванням типу та кількості інформації, що надходить на вхід штучної нейронної мережі. Також відмінною особливістю розробленої методики є те, що для обчислення вхідних даних не потрібні попередні розрахункові дані. Розробка запропонованої методики обумовлена необхідністю проведення навчання штучних нейронних мереж для інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, з метою обробки більшої кількості інформації, при однозначності рішень, що приймаються. За результатами дослідження встановлено, що зазначена методика навчання забезпечує в середньому на 10–18 % більш високу ефективність навчання штучних нейронних мереж та не накопичує похибок в ході навчання. Зазначена методика дозволить проводити навчання штучних нейронних мереж за рахунок навчання параметрів та архітектури, визначити ефективні заходи для підвищення ефективності функціонування штучних нейронних мереж. Використання зазначеної методики дозволить зменшити використання обчислювальних ресурсів систем підтримки прийняття рішень та виробити заходи, що спрямовані на підвищення ефективності навчання штучних нейронних мереж; підвищити оперативність обробки інформації в штучних нейронних мережах.

**Ключові слова:** штучні нейронні мережі, оперативність обробки інформації, системи підтримки прийняття рішень.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.251350**

#### **АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ВИЯВЛЕННЯ СТЕГАНОГРАМ, СФОРМОВАНИХ ЗГІДНО АДАПТИВНИХ СТЕГАНОГРАФІЧНИХ МЕТОДІВ, ПРИ ВИКОРИСТАННІ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ (с. 45–55)**

**Д. О. Прогонов, М. Б. Яриш**

Робота присвячена порівняльному аналізу точності виявлення стеганограм, сформованих згідно адаптивних стеганографічних методів, при використанні стегодетекторів на основі поширених та спеціалізованих типів штучних нейронних мереж. За результатами огляду сучасних згорткових нейронних мереж, які використовуються в задачах стегоаналізу цифрових зображень, встановлено, що точність роботи стегодетекторів на основі даних мереж суттєво знижується при обробці пакетів зображень, що характеризуються значною варіативністю статистичних параметрів.

Досліджено точність роботи стегодетекторів на основі сучасної статистичної моделі зображень-контейнерів maxSRMd2, а також новітніх згорткових та «гібридних» штучних нейронних мереж, зокрема мереж GB-Ras та ASSAF, для виявлення стеганограм, сформованих згідно адаптивним стеганографічним методам HUGO та MiPOD. Встановлено, що застосування статистичної моделі maxSRMd2 дозволяє суттєво (до 30 %) підвищити точність виявлення стеганограм у випадку аналізу зображень, що характеризуються високим рівнем власних шумів. Виявлено, що використання мережі ASSAF дозволяє суттєво (до 35 %) зменшити помилку виявлення стеганограм у порівнянні з сучасними стегодетекторами на основі мережі GB-Ras та статистичної моделі maxSRMd2. Встановлено, що висока точність роботи стегодетектору на основі мережі ASSAF зберігається навіть у найбільш складному випадку обробки зображень з високим рівнем шумів та слабого заповнення зображення-контейнеру стегоданими (менше 10 %).

Отримані результати становлять теоретичний інтерес щодо розробки високоточних стегодетекторів, здатних працювати в умовах високої варіативності параметрів зображень.

**Ключові слова:** стегоаналіз, цифрові зображення, згорткові нейронні мережі, автоенкодера.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.251570**

#### **РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ЗАХИСТУ МАРКЕРІВ ДОСТУПУ НА ОСНОВІ ПІДПISУ ЗАПИТІВ ТИМЧАСОВИМ СЕКРЕТОМ (с. 56–62)**

**В. І. Буковецький, В. М. Різак**

Запропоновано метод захисту маркерів доступу в клієнт-серверному обміні даними без збереження стану, заснований на формуванні підпису запиту за допомогою тимчасового секрету. Розроблений метод дозволяє не виконувати передачу з кожним запитом маркерів доступу, які дозволили б зловмиснику автентифікуватись дійсним користувачем при компрометації з'єднання, наприклад при використанні атаки «людина посередині».



Запропоновано та обґрунтовано два варіанти методу – спрощений та покращений, сфера використання яких залежить від потреб у захисті та технічних можливостей їх реалізації. Стійкість обох варіантів забезпечується практичною неможливістю підбору початкових вхідних даних геш-функції, яка використовувалась для формування підпису. Покращений варіант дозволяє також захистити маркери доступу на етапі їх отримання, та передбачає захист від атаки повтору запиту. Захист при початковій автентифікації користувача досягається за рахунок використання протоколу Діффі-Геллмана для обміну секретом та маркером доступу. Використання ідентифікаторів запитів та часових міток дозволяє запобігти повторному використанню запиту.

Додатковий захист для маркерів доступу є важливим, адже наявність маркера доступу у зловмисника дає йому повний контроль над обліковим записом користувача. Використання ж SSL/TLS може не дати бажаного рівня захисту для таких важливих даних.

Встановлено, що використання запропонованого методу не додає значних часових витрат. На прикладі використання геш-функції SHA-256 показано, що залежність між розміром повідомлення та додатковим часом на відправку та отримання повідомлення є лінійною. При використанні запропонованого методу в браузері абсолютне значення додаткових витрат часу для повідомлень об'ємом від 100 байт до 2048 Кб становить від 0.4 мс до 142 мс. Завдяки цьому запропонований метод може бути використаний без значного впливу на досвід користування.

**Ключові слова:** захист маркерів доступу, підпис клієнт-серверних повідомлень, автентифікація, безпека сесій.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.252135**

### **РОЗРОБКА МЕТОДИКИ РІВНЯ ЗАХИЩЕНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖ З ВРАХУВАННЯМ ВЗАЄМОВІДНОСИН КОРИСТУВАЧІВ (с. 63–74)**

**В. М. Ахрамович, Г. В. Шуклін, Ю. В. Пена, Т. М. Мужанова, С. А. Зозуля**

Досліджено лінійні та динамічні моделі системи захисту інформації в соціальних мережах з врахуванням взаємовідносин між користувачами, а також проведено аналіз стійкості системи захисту.

Існує практичний інтерес дослідження поведінки системи захисту соціальних мереж від параметрів взаємодії користувачів. Розглянуто динамічні системи захисту інформації в соціальних мережах у математичному розумінні цього терміну. Під динамічною системою розуміють будь-який об'єкт або процес, для якого однозначно визначено поняття стану як сукупності деяких величин в даний момент часу і заданий закон, який описує зміну (еволюцію) початкового стану з плином часу.

Мережа соціальних взаємодій складається із сукупності соціальних користувачів і набору зв'язків між ними. Як соціальні користувачі можуть виступати індивіди, соціальні групи, організації, міста, країни. Під зв'язками розуміються не тільки комунікаційні взаємодії між користувачами, а й зв'язки з обміну різними ресурсами і діяльністю, включаючи конфліктні відносини.

В результаті досліджень встановлено, що системи захисту соціальної мережі нелінійні. Теоретичне дослідження динамічної поведінки реального об'єкта вимагає створення його математичної моделі. Процедура розробки моделі полягає в складанні математичних рівнянь на основі фізичних законів. Вказані закони сформульовані на мові диференціальних рівнянь.

Визначено фазові портрети системи захисту даних в програмі MatLab/Multisim, які вказують на стійкість системи захисту в робочому діапазоні параметрів навіть при максимальному значенні впливів.

Таким чином, досліджено вплив параметрів взаємодії користувачів на параметри системи захисту соціальної мережі. Таке дослідження корисне та важливе з точки зору захисту інформації в мережі, оскільки параметри взаємодії користувачів значно впливають, до 100 %, на показник захисту.

**Ключові слова:** соціальна мережа, взаємовідносини користувачів, система захисту, нелінійність диференціальні рівняння, методика.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.253103**

### **ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ВИБОРА ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕДУРИ ПРОРІДЖУВАННЯ НА ЯКІСТЬ НАВЧАННЯ БАГАТОШАРОВОГО ПЕРСЕПТРОНА (с. 75–83)**

**О. М. Галчонков, А. І. Неврев, Б. О. Шевчук, М. А. Баранов**

Проріджування зв'язків у повнозв'язної нейронної мережі дозволяє видалити надмірність у структурі нейронної мережі і таким чином зменшити обчислювальну складність її реалізації при збереженні результуючих характеристик класифікації зображень, що надходять на її вхід. Однак питання вибору параметрів процедури проріджування на даний момент недостатньо вивчені. Вибір істотно залежить від конфігурації нейронної мережі. Тим не менш, у будь-якій конфігурації нейронної мережі є один або більше багатощарових персептронів. Для них можна розробити універсальні рекомендації щодо вибору параметрів процедури проріджування. Розглянуто один із найбільш перспективних для практичної реалізації методів – ітераційний метод проріджування, який використовує для регуляризації процесу навчання нейронної мережі передобробку вхідних сигналів. Для конкретної конфігурації багатощарового персептрона і набору даних MNIST (Modified National Institute of Standards and Technology – база даних зразків рукописного написання цифр, запропонована Національним інститутом стандартів та технологій США як стандарт при співставленні методів розпізнавання зображень) отримані залежності точності класифікації рукописних цифр і швидкості навчання від кроку навчання, інтервалу проріджування та кількості зв'язків, що видаляються, на кожній ітерації проріджування. Показано, що найкращий набір параметрів процедури навчання з проріджуванням забезпечує збільшення якості класифікації приблизно на 1 % порівняно з найгіршим у дослідженому діапазоні. Випуклий характер цих залежностей дозволяє конструктивно підходити до знаходження конфігурації нейронної мережі, що забезпечує найбільшу точність класифікації при мінімальному обсягу обчислювальних витрат на реалізацію.

**Ключові слова:** багатощаровий персептрон, нейронна мережа, проріджування, крива навчання, вагові коефіцієнти, класифікація зображень.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.252801****ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ТРАНСФЕРНОГО НАВЧАННЯ ПРИ РОЗРОБЦІ ІНТЕГРАЛЬНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ МОВИ З НИЗЬКИМ РІВНЕМ ДАНИХ (с. 84–92)****Orken Mamyrbayev, Keylan Alimhan, Dina Oralbekova, Akbayan Bekarystankyzy, Bagashar Zhumazhanov**

На сьогоднішній день забезпечення найкращої якості та ефективності сучасних мовних технологій можливо на основі широкого застосування методів машинного навчання. Ідея даного проекту полягає у вивченні та реалізації інтегральної системи автоматичного розпізнавання мови з використанням методів машинного навчання, а також у розробці нових математичних моделей та алгоритмів вирішення задачі автоматичного розпізнавання мови для аглютинативних (тюркських) мов.

Багато дослідницьких робіт показали, що методи глибокого навчання спрощують навчання систем автоматичного розпізнавання мови, що використовують інтегральний підхід. Даний метод також дозволяє навчання системи автоматичного розпізнавання мови безпосередньо, тобто без ручної роботи з необробленими сигналами. Незважаючи на високу якість розпізнавання, у даній моделі є деякі недоліки. Ці недоліки засновані на необхідності великого обсягу даних для навчання. Це є серйозною проблемою для мов з низьким рівнем даних, особливо для тюркських мов, таких як казахська та азербайджанська. Для вирішення даної проблеми необхідно застосування різних методів. Деякі методи використовуються для інтегрального розпізнавання мов, що належать до однієї мовної сім'ї (аглютинативні мови). Для малоресурсних мов застосовується трансфертне навчання, для багаторесурсних мов – багатозадчне навчання. Для підвищення ефективності та швидкого вирішення проблеми, пов'язаної з обмеженим ресурсом, для інтегральної моделі було використано трансфертне навчання. Метод трансфертного навчання допоміг підігнати модель, навчену на наборі даних казахською мовою, до набору даних азербайджанською. Таким чином, одночасно навчалися два мовні корпуси. Проведені експерименти з двома корпусами показують, що в порівнянні з базовими моделями (DNN+HMM, WaveNet та CNC+LM), трансфертне навчання дозволяє знизити частоту появи помилкових символів, частоту появи помилкових фонем (PER) на 14,23 %. Отже, реалізована модель з методом трансфертного навчання може бути використана для розпізнавання інших малоресурсних мов.

**Ключові слова:** автоматичне розпізнавання мови, трансфертне навчання, інтегральна, малоресурсна мова, коннекціоністська часова класифікація, увага.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.253530****РОЗРОБКА МЕТОДУ ПЕРЕВІРКИ ВРАЗЛИВОСТЕЙ КОРПОРАТИВНОЇ МЕРЕЖІ ЗА ДОПОМОГОЮ ПЕРЕТВОРЕНЬ БЕРНШТЕЙНА (с. 93–101)****Р. В. Киричок, О. А. Лаптев, Р. В. Лісневський, В. В. Козловський, В. В. Клобуков**

Розглянуто один із провідних напрямків кібербезпеки комунікаційних мереж – впровадження превентивних механізмів, серед яких найбільш перспективними є методи активного аналізу безпеки. Ці методи дозволяють окрім своєчасного виявлення вразливостей цільової системи (системи, що аналізується), підтверджувати можливість їх реалізації, тобто валідувати вразливості шляхом імітування реальних дій потенційного зломисника. Гостра необхідність у валідації вразливостей із множини виявлених викликана тим фактом, що деякі з них можуть бути лише теоретичними, інші – експлуатуються з використанням шкідливих скриптів (експлойтів). Водночас, процес валідації вразливостей є практично недослідженим. Саме тому, в роботі проведено експериментальне дослідження функціонування сучасного інструментарію експлуатації вразливостей. На основі спостережень було виділено загальні кількісні характеристики процесу валідації вразливостей. Розроблено математичну модель аналізу вищезазначених характеристик на основі поліномів Бернштейна. Саме поліноміальне представлення процедури підтвердження можливості реалізації виявлених вразливостей дозволяє описати динаміку даного процесу враховуючи складну та мінливу природу середовища. Отримано аналітичні залежності для кількості випадків успішного і негативного підтвердження вразливостей. Зокрема до негативних випадків підтвердження відносяться просто невдалі спроби валідації вразливостей, а також спроби, що призвели до критичних помилок на цільовій системі під час раціонального циклу валідації виявлених вразливостей. Запропоновані залежності дозволяють побудувати закони розподілу ймовірностей зазначених вище характеристик процесу перевірки вразливостей.

**Ключові слова:** активний аналіз безпеки, експлуатація вразливостей, цільова система, безпека корпоративної мережі.