

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

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.289623**

**INCREASING OF THE ACCURACY OF DETERMINING THE COORDINATES OF AN AERIAL OBJECT IN THE TWO-POSITION NETWORK OF SMALL-SIZED RADARS (p. 6–13)**

**Hennadii Khudov**

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,  
 Kharkiv, Ukraine

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

**Andrii Berezhnyi**

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,  
 Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0002-3667-339X>

**Oleksandr Oleksenko**

Air Force Command of UA Armed Forces, Vinnytsia, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6853-9630>

**Volodymyr Maliuha**

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,  
 Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6227-1269>

**Ivan Balyk**

Scientific-Research Institute of Military Intelligence, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0006-7350-3313>

**Maksym Herda**

Scientific-Research Institute of Military Intelligence, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6569-9284>

**Anatolii Sobora**

State Scientific Research Institute of Armament and Military  
 Equipment Testing and Certification, Chernihiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0004-4099-0907>

**Yehor Bridnia**

Institute of Military Law of Yaroslav Mudryi National Law  
 University, Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1763-7388>

**Viacheslav Chepurnyi**

Institute of Military Law of Yaroslav Mudryi National Law  
 University, Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1341-1904>

**Valentina Gridina**

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,  
 Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6544-6167>

The object of research is the process of determining the coordinates of aerial objects by a small-sized radars. The main hypothesis of the study assumes that combining two small-sized radars into a network could improve the accuracy of determining the coordinates of aerial objects.

It was established that when determining the coordinates of an aerial object by a small-sized radars, the accuracy of determining the range is much better than the accuracy of determining the angular coordinate. To eliminate this shortcoming, a two-position network of small-sized radars and their error ellipses was considered. It is

proposed to use the range-finding method in each small-sized radar of the two-position network.

A method for determining the coordinates of aerial objects in a two-position network of small-sized radars has been improved, which, unlike known ones:

- enables a synchronous survey of the airspace by small-sized radars;
- measures the range to the aerial object by two small-sized radars;
- determines the coordinates of the aerial object by the joint processing of radar information from two small-sized radars.

The accuracy of determining the coordinates of aerial objects in a two-position network of small-sized radars was evaluated. The experimental evaluation was carried out by means of simulation using the method of Monte Carlo statistical tests. Working areas of the two-position network of small-sized radars were calculated. It was established that the two-position network of small-radars works only in the area formed by the intersections of the viewing areas of small-sized radars during their autonomous operation.

**Keywords:** small-sized radar, coordinate determination accuracy, two-position network, error ellipse.

#### References

1. Sentinel Radar. Available at: <https://www.rtx.com/raytheon/what-we-do/land>
2. NASAMS anti-aircraft missile system. Available at: <https://en.missile-ry.info/missile/nasams>
3. Blinde, L. (2015). Army issues RFI for Systems Engineering Technical Assistance for PdM radars. Available at: <https://intelligence-communitynews.com/army-issues-rfi-for-systems-engineering-technical-assistance-for-pdm-radars/>
4. Can Hypersonic Missiles Be Detected & Can Radars Defend Against Them? Available at: <https://www.leonardodrs.com/news/thought-leadership/can-hypersonic-missiles-be-detected-can-radars-defend-against-them/>
5. Sherman, J. (2023). Drone-on-Drone Combat in Ukraine Marks a New Era of Aerial Warfare. Available at: <https://www.scientific-american.com/article/drone-on-drone-combat-in-ukraine-marks-a-new-era-of-aerial-warfare/>
6. Blann, S., Morton, E. (2023). Russia launched 'largest drone attack' on Ukrainian capital before Kyiv Day; 1 killed. Available at: <https://apnews.com/article/ukraine-kyiv-drone-attack-shahed-russia-war-57a856f99e8ec9760b78a2b0669b7383>
7. Liu, W., Zhang, L., Huang, N., Xu, Z. (2023). Wide dynamic range signal detection for underwater optical wireless communication using a PMT detector. *Optics Express*, 31 (15), 25267. doi: <https://doi.org/10.1364/oe.494311>
8. Wang, T., Zhang, Y., Zhao, H., Zhang, Y. (2017). Multiband Radar Signal Coherent Processing Algorithm for Motion Target. *International Journal of Antennas and Propagation*, 2017, 1–8. doi: <https://doi.org/10.1155/2017/4060789>
9. Li, Z., Chung, P.-J., Mulgrew, B. (2017). Distributed target localization using quantized received signal strength. *Signal Processing*, 134, 214–223. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2016.12.003>

10. Shin, S. -J. (2017). Radar measurement accuracy associated with target RCS fluctuation. *Electronics Letters*, 53 (11), 750–752. doi: <https://doi.org/10.1049/el.2017.0901>
11. Cho, I.-S., Lee, Y., Baek, S. J. (2020). Real-Time Inter-Vehicle Data Fusion Based on a New Metric for Evidence Distance in Autonomous Vehicle Systems. *Applied Sciences*, 10 (19), 6834. doi: <https://doi.org/10.3390/app10196834>
12. Melvi, W. L., Scheer, J. A. (2013). Principles of modern radar. Vol. II: Advanced techniques. Raleigh: SciTech Publishing. Available at: <https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/tdg/ADVANCED%20MILITARY%20PLATFORM%20DESIGN/Principles%20of%20Modern%20Radar.%20Volume%20%202.pdf>
13. Melvin, W. L., Scheer, J. A. (2014). Principles of modern radar. Vol. III: Radar applications. Raleigh: SciTech Publishing. Available at: <https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/tdg/ADVANCED%20MILITARY%20PLATFORM%20DESIGN/Principles%20of%20Modern%20Radar.%20Volume%20%203.pdf>
14. Bezouwen, J., Brandfass, M. (2017). Technology Trends for Future Radar. Available at: <https://www.microwavejournal.com/articles/29367-technology-trends-for-future-radar>
15. Richards, M. A., Scheer, J. A., Holm, W. A. (Eds.) (2010). Principles of Modern Radar: Basic principles. IET. doi: <https://doi.org/10.1049/sbra021e>
16. Lishchenko, V., Kalimulin, T., Khizhnyak, I., Khudov, H. (2018). The Method of the organization Coordinated Work for Air Surveillance in MIMO Radar. 2018 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo). doi: <https://doi.org/10.1109/ukrmico43733.2018.9047560>
17. Khudov, H. (2020). The Coherent Signals Processing Method in the Multiradar System of the Same Type Two-coordinate Surveillance Radars with Mechanical Azimuthal Rotation. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8 (6), 2624–2630. doi: <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/66862020>
18. Marpl-m, S. L. (1990). TSifrovoy spektral'nyy analiz i ego prilozheniya. Moscow: Mir, 584.
19. Klimov, S. A. (2013). Metod povysheniya razreshayushey sposobnosti radiolokatsionnykh sistem pri tsifrovoy obrabotke signalov. *Zhurnal radioelektroniki*, 1. Available at: <http://jre.cplire.ru/jre/jan13/1/text.html>
20. Bhatta, A., Mishra, A. K. (2017). GSM-based commsense system to measure and estimate environmental changes. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 32 (2), 54–67. <https://doi.org/10.1109/maes.2017.150272>
21. Neyt, X., Raout, J., Kubica, M., Kubica, V., Roques, S., Acheroy, M., Verly, J. Feasibility of STAP for passive GSM-based radar. Available at: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.158.2101&rep=rep1&type=pdf>
22. Willis N. J., Nicholas, J. (2005). Bistatic Radar. Raleigh: SciTech Publishing. Available at: <https://dokumen.tips/documents/bistatic-radar-second-edition.html?page=3>
23. Lishchenko, V., Khudov, H., Tiutiunnyk, V., Kuprii, V., Zots, F., Misyyuk, G. (2019). The Method of Increasing the Detection Range of Unmanned Aerial Vehicles In Multiradar Systems Based on Surveillance Radars. 2019 IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). doi: <https://doi.org/10.1109/elnano.2019.8783263>
24. Ruban, I., Khudov, H., Lishchenko, V., Pukhovyi, O., Popov, S., Kolos, R., Kravets, T. et al. (2020). Assessing the detection zones of radar stations with the additional use of radiation from external sources. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (9 (108)), 6–17. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.216118>
25. Leshchenko, S. P., Kolesnyk, O. M., Hrytsaienko, S. A., Burkovskiy, S. I. (2017). Vykorystannia informatsiyi ADS-B v interesakh pidvyschennia yakosti vedennia radiolokatsiyoi rozvidky povitrianoho prostoru. *Nauka i tekhnika Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy*, 3 (28), 69–75.
26. Khudov, H., Diakonov, O., Kuchuk, N., Maluha, V., Furmanov, K., Mylashenko, I. et al. (2021). Method for determining coordinates of airborne objects by radars with additional use of ADS-B receivers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (112)), 54–64. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.238407>
27. LORAN-C. Available at: <https://skybrary.aero/articles/oran-c>
28. Multilateration (MLAT) Concept of Use, Edition 1.0 (2007). International Civil Aviation Organization Asia And Pacific Office. Available at: [https://www.icao.int/APAC/Documents/edocs/mlat\\_concept.pdf](https://www.icao.int/APAC/Documents/edocs/mlat_concept.pdf)
29. Neven, W.H., Quilter, T.J., Weedon, R., Hogendoorn, R.A. Wide Area Multilateration Wide Area Multilateration Report on EATMP TRS 131/04. Available at: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-05/surveillance-report-wide-area-multilateration-200508.pdf>
30. Mantilla-Gaviria, I. A., Leonardi, M., Balbastre-Tejedor, J. V., de los Reyes, E. (2013). On the application of singular value decomposition and Tikhonov regularization to ill-posed problems in hyperbolic passive location. *Mathematical and Computer Modelling*, 57 (7-8), 1999–2008. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2012.03.004>
31. Schau, H., Robinson, A. (1987). Passive source localization employing intersecting spherical surfaces from time-of-arrival differences. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 35 (8), 1223–1225. doi: <https://doi.org/10.1109/tassp.1987.1165266>
32. Khudov, H., Mynko, P., Ikhsanov, S., Diakonov, O., Kovalenko, O., Solomonenko, Y. et al. (2021). Development a method for determining the coordinates of air objects by radars with the additional use of multilateration technology. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (113)), 6–16. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.242935>
33. Khudov, H., Yarosh, S., Droban, O., Lavrut, O., Hulak, Y., Porokhnia, I. et al. (2021). Development of a direct penetrating signal compensator in a distributed reception channel of a surveillance radar. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (110)), 16–26. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.228133>
34. Oleksenko, O., Khudov, H., Petrenko, K., Horobets, Y., Kolianda, V., Kuchuk, N. et al. (2021). The Development of the Method of Radar Observation System Construction of the Airspace on the Basis of Genetic Algorithm. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 11 (8), 23–30. doi: [https://doi.org/10.46338/ijetae0821\\_04](https://doi.org/10.46338/ijetae0821_04)
35. Ryu, H., Wee, I., Kim, T., Shim, D. H. (2020). Heterogeneous sensor fusion based omnidirectional object detection. 2020 20th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS). doi: <https://doi.org/10.23919/iccas50221.2020.9268431>
36. Salman, S., Mir, J., Farooq, M. T., Malik, A. N., Haleemdeen, R. (2021). Machine Learning Inspired Efficient Audio Drone Detection using Acoustic Features. 2021 International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technologies (IBCAST). doi: <https://doi.org/10.1109/ibcast51254.2021.9393232>
37. Yuqi, L., Jianxin, Y., Xianrong, W., Feng, C., Yunhua, R. (2018). Experimental Research on Micro-Doppler Effect of Multi-rotor

- Drone with Digital Television Based Passive Radar. *Journal of Radars*, 7 (5), 585–592. doi: <https://doi.org/10.12000/JR18062>
38. Wang, W. (2016). Overview of frequency diverse array in radar and navigation applications. *IET Radar, Sonar & Navigation*, 10 (6), 1001–1012. doi: <https://doi.org/10.1049/iet-rsn.2015.0464>
39. SHAHED-136. Loitering munition / Kamikaze-Suicide drone – Iran (2023). Available at: [https://www.armyrecognition.com/iran\\_unmanned\\_ground\\_aerial\\_vehicles\\_systems/shahed-136\\_loitering\\_munition\\_kamikaze-suicide\\_drone\\_iran\\_data.html#google\\_vignette](https://www.armyrecognition.com/iran_unmanned_ground_aerial_vehicles_systems/shahed-136_loitering_munition_kamikaze-suicide_drone_iran_data.html#google_vignette)
40. Khudov, H., Kostianets, O., Kovalenko, O., Maslenko, O., Solomonenko, Y. (2023). Using Software-Defined radio receivers for determining the coordinates of low-visible aerial objects. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (124)), 61–73. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.286466>
41. NASAMS Air Defence System. Available at: <https://www.kongsberg.com/kda/what-we-do/defence-and-security/integrated-air-and-missile-defence/nasams-air-defence-system>
42. Khudov, H., Zvonko, A., Lisohorskyi, B., Solomonenko, Y., Mynko, P., Glukhov, S. et al. (2022). Development of a rangefinding method for determining the coordinates of targets by a network of radar stations in counter-battery warfare. *EUREKA: Physics and Engineering*, 3, 121–132. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2022.002380>
43. Kwiatkowski, R. (2022). Monte Carlo Simulation – a practical guide. Available at: <https://towardsdatascience.com/monte-carlo-simulation-a-practical-guide-85da45597f0e>
44. Menčík, J. (2016). Monte Carlo Simulation Method. *Concise Reliability for Engineers*. doi: <https://doi.org/10.5772/62369>
45. What Is Monte Carlo Simulation? Available at: <https://www.mathworks.com/discovery/monte-carlo-simulation.html>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.288397

**IMPROVING THE ACCURACY OF A DIGITAL SPECTRAL CORRELATION-INTERFEROMETRIC METHOD OF DIRECTION FINDING WITH ANALYTICAL SIGNAL RECONSTRUCTION FOR PROCESSING AN INCOMPLETE SPECTRUM OF THE SIGNAL (p. 14–25)**

**Nurzigit Smailov**

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7264-2390>

**Vitaliy Tsyporenko**

Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8559-006X>

**Akezhan Sabibolda**

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1186-7940>

**Valentyn Tsyporenko**

Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6843-8960>

**Assem Kabdoldina**

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan  
Institute of Mechanics and Mechanical Engineering named after Academician U. A. Dzholdasbekov, Almaty, Republic of Kazakhstan  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6416-1979>

**Maigul Zhekambayeva**

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0612-6336>

**Ainur Kuttybayeva**

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7281-3690>

**Aldabergen Bektilevov**

Institute of Mechanics and Mechanical Engineering named after Academician U. A. Dzholdasbekov, Almaty, Republic of Kazakhstan  
Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0865-6023>

**Abdurazak Kassimov**

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, Republic of Kazakhstan  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7270-5577>

**Askar Abdykadyrov**

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1143-4675>

A method of correlation-interferometric direction finding has been improved, which effectively solves the problem of radio direction finding of radio emission sources under conditions of exposure to one or two masking interference. The problem was solved using the selection of an unmasked fragment of the spatial spectrum of the signal and the reconstruction of the missing samples of its signal group. As a result of the synthesis of the proposed method, estimates of signal samples were obtained as exact solutions to the proposed energy balance equations. The resulting solutions provide a significant increase in the signal-to-interference ratio and, accordingly, direction-finding accuracy without increasing the number of reception channels of the antenna array. As a result of the simulation, the dependences of the standard deviation of the bearing estimate on the signal-to-noise ratio in the presence of interference were built. Under the influence of one or two masking interferences and a signal-to-interference ratio of 0 dB, the use of the known direction-finding method without interference selection produces an anomalously large direction-finding error of more than 0.42 degrees, which is practically independent of the signal-to-noise ratio. The direction-finding method with selection of spectral signal samples masked by interference reduces the direction-finding error to 0.22 degrees when exposed to one interference and to 0.3 degrees when exposed to two interferences. This is due to the presence of power losses of the usable signal during the selection of its samples masked by interference. The proposed method of direction finding with reconstruction of signal samples provides a significant gain in accuracy by 3–30 times compared to the method of selection of masked samples in the range of changes in the signal-to-noise ratio (–20.5) dB. The direction-finding error of the proposed method decreases with increasing signal/noise according to a hyperbolic dependence. It is advisable to use the proposed direction-finding method when masking no more than two samples of the signal group.

**Keywords:** error variance, direction finding accuracy, signal spectrum reconstruction, analytical signal reconstruction.

**References**

1. Rembovskij, A. M. (2015). *Radio monitoring – tasks, methods, means*. Moscow: Hotline-Telecom, 640.
2. Sabibolda, A., Tsyporenko, V., Tsyporenko, V., Smailov, N., Zhunussov, K., Abdykadyrov, A. et al. (2022). Improving the accuracy and performance speed of the digital spectral-correlation method for measuring delay in radio signals and direction finding. *Eastern-*

- European Journal of Enterprise Technologies, 1 (9 (115)), 6–14. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252561>
3. Tsyporenko, V. V., Tsyporenko, V. G., Nikitzczuk, 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>
  4. 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 Radioaparaturbuduvannia*, 72, 23–31. doi: <https://doi.org/10.20535/radap.2018.72.23-31>
  5. Lee, J.-H., Woo, J.-M. (2015). Interferometer Direction-Finding System With Improved DF Accuracy Using Two Different Array Configurations. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 14, 719–722. doi: <https://doi.org/10.1109/lawp.2014.2377291>
  6. Liu, H., Chen, J., Liang, X., Jin, R. (2022). A Compensation Method of Nonideal Modulation Pulse for Direction Finding With Time-Modulated Array. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 21 (8), 1577–1581. doi: <https://doi.org/10.1109/lawp.2022.3174424>
  7. Kornaros, E., Kabiri, S., De Flaviis, F. (2017). A Novel Model for Direction Finding and Phase Center With Practical Considerations. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 65 (10), 5475–5491. doi: <https://doi.org/10.1109/tap.2017.2735462>
  8. Jiang, X., Ni, G., Cao, A., Shao, C., He, C. (2021). Single-Channel Spatial Spectrum Estimation Direction Finding by the Time-Modulated Linear Array. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 20 (12), 2491–2495. doi: <https://doi.org/10.1109/lawp.2021.3115826>
  9. Liao, B., Wen, J., Huang, L., Guo, C., Chan, S.-C. (2016). Direction Finding With Partly Calibrated Uniform Linear Arrays in Nonuniform Noise. *IEEE Sensors Journal*, 16 (12), 4882–4890. doi: <https://doi.org/10.1109/jsen.2016.2550664>
  10. Jiang, Y., Lan, X., Shi, J., Han, Z., Wang, X. (2022). Multi-Target Parameter Estimation of the FMCW-MIMO Radar Based on the Pseudo-Noise Resampling Method. *Sensors*, 22 (24), 9706. doi: <https://doi.org/10.3390/s22249706>
  11. Van Brandt, S., Verhaevert, J., Van Hecke, T., Rogier, H. (2022). A New Conformal Map for Polynomial Chaos Applied to Direction-of-Arrival Estimation via UCA Root-MUSIC. *Sensors*, 22 (14), 5229. doi: <https://doi.org/10.3390/s22145229>
  12. Lee, J., Jeong, D., Lee, S., Lee, M., Lee, W., Jung, Y. (2023). FPGA Implementation of the Chirp-Scaling Algorithm for Real-Time Synthetic Aperture Radar Imaging. *Sensors*, 23 (2), 959. doi: <https://doi.org/10.3390/s23020959>
  13. Ni, G., He, C., Liu, Y., Chen, J., Jin, R. (2020). Direction-Finding Based on Time-Modulated Array Without Sampling Synchronization. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 19 (12), 2149–2153. doi: <https://doi.org/10.1109/lawp.2020.3025328>
  14. Zhang, C., Huang, H., Liao, B. (2017). Direction Finding in MIMO Radar With Unknown Mutual Coupling. *IEEE Access*, 5, 4439–4447. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2017.2684465>
  15. Xu, Y., Wang, C., Zheng, G., Tan, M. (2023). Nonlinear Frequency Offset Beam Design for FDA-MIMO Radar. *Sensors*, 23 (3), 1476. doi: <https://doi.org/10.3390/s23031476>
  16. Tang, T., Jiang, L., Zhao, P., Zheng, N. (2022). Coordinated Positioning Method for Shortwave Anti-Multipath Based on Bayesian Estimation. *Sensors*, 22 (19), 7379. doi: <https://doi.org/10.3390/s22197379>
  17. Wang, J., Wang, P., Zhang, R., Wu, W. (2022). SDFnT-Based Parameter Estimation for OFDM Radar Systems with Inter-carrier Interference. *Sensors*, 23 (1), 147. doi: <https://doi.org/10.3390/s23010147>
  18. Ren, B., Wang, T. (2022). Space-Time Adaptive Processing Based on Modified Sparse Learning via Iterative Minimization for Conformal Array Radar. *Sensors*, 22 (18), 6917. doi: <https://doi.org/10.3390/s22186917>
  19. Dai, Y., Liu, D., Hu, Q., Yu, X. (2022). Radar Target Detection Algorithm Using Convolutional Neural Network to Process Graphically Expressed Range Time Series Signals. *Sensors*, 22 (18), 6868. doi: <https://doi.org/10.3390/s22186868>
  20. Rosado-Sanz, J., Jarabo-Amores, M. P., De la Mata-Moya, D., Rey-Maestre, N. (2022). Adaptive Beamforming Approaches to Improve Passive Radar Performance in Sea and Wind Farms' Clutter. *Sensors*, 22 (18), 6865. doi: <https://doi.org/10.3390/s22186865>
  21. Li, R., Zhao, L., Liu, C., Bi, M. (2022). Strongest Angle-of-Arrival Estimation for Hybrid Millimeter Wave Architecture with 1-Bit A/D Equipped at Transceivers. *Sensors*, 22 (9), 3140. doi: <https://doi.org/10.3390/s22093140>
  22. Xu, K., Deng, Y., Yu, Z. (2022). Distributed Target Detection in Unknown Interference. *Sensors*, 22 (7), 2430. doi: <https://doi.org/10.3390/s22072430>
  23. Proakis, J. G. (2006). *Digital Signal Processing, Principles, Algorithms, and Applications*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, NJ, USA, 1077.
  24. Alessio, S. M. (2016). *Digital Signal Processing and Spectral Analysis for Scientists*. Springer Cham, 900. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-25468-5>

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.289472**

**IDENTIFYING THE REGULARITIES OF THE SIGNAL DETECTION METHOD USING THE KALMAN FILTER (p. 26–34)**

**Bekbolat Medetov**

S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Republic of Kazakhstan

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5594-8435>

**Aigul Kulakayeva**

International Information Technology University, Almaty, Republic of Kazakhstan

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0143-085X>

**Ainur Zhetpisbayeva**

S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Republic of Kazakhstan

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4525-5299>

**Nurtay Albanbay**

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3393-7380>

**Tair Kabduali**

S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Republic of Kazakhstan

**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0008-8845-087X>

Currently, it is more efficient to use LEO small spacecraft as radio control points to determine the compliance of the radiation

parameters of electronic means with the relevant norms and conditions of permits for the use of the radio frequency spectrum. Such satellite radio monitoring systems make it possible to determine the parameters of signals and the location of radio-electronic means over a large area with a diverse terrain, which will increase the efficiency of radio monitoring systems. When performing such tasks, one of the most important parameters is the detection and isolation of a useful signal against the background of noise and interference. For such purposes, it is effective to use Kalman filters. It was found that the Kalman filter can detect and isolate useful signals against the background of noise and interference with very high accuracy. However, when solving such problems, problems arise related to the stability of the method to the choice of the initial state of the filter and the inevitable distortion of the frequency of the desired signal due to the presence of the Doppler effect. In the course of this study, it was found that the similarity coefficient depends on the noise level, but it does not actually depend on frequency distortion.

It was also found that when the SNR ratio is greater than 0 dB, the radio signal at the input of the on-board measuring receiver will be received with a reliability of more than 90 %. Therefore, it can be concluded that the signal detection method for satellite radio monitoring based on the use of the Kalman filter is resistant to possible frequency distortions of the desired signal due to the Doppler effect and does not affect the correctness and speed of decisions made.

**Keywords:** Kalman filter, geolocation, Doppler measurements, low earth orbit satellite, radio monitoring.

## References

- Aitmagambetov, A., Butuzov, Y., Butuzov, Y., Tikhvinskiy, V., Tikhvinskiy, V., Kulakayeva, A. et al. (2021). Energy budget and methods for determining coordinates for a radiomonitoring system based on a small spacecraft. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 21 (2), 945. doi: <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v21.i2.pp945-956>
- Hao, C., Wan, X., Feng, D., Feng, Z., Xia, X.-G. (2021). Satellite-Based Radio Spectrum Monitoring: Architecture, Applications, and Challenges. *IEEE Network*, 35 (4), 20–27. doi: <https://doi.org/10.1109/mnet.011.2100015>
- Sarda, K., Roth, N., Zee, R., CaJacob, D., Nathan, G. O. (2018). Making the Invisible Visible: Precision RF-Emitter Geolocation from Space by the HawkEye 360 Pathfinder Mission. 32nd Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites. Available at: <https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=4075&context=smallsat>
- Pelton, J. N. (2020). Radio-Frequency Geo-location and Small Satellite Constellations. *Handbook of Small Satellites*, 811–823. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-36308-6\\_46](https://doi.org/10.1007/978-3-030-36308-6_46)
- HawkEye 360. Available at: <https://www.he360.com/>
- Dudas, L., Szucs, L., Gschwindt, A. (2015). The spectrum monitoring system by Smog-1 satellite. 2015 Conference on Microwave Techniques (COMITE). doi: <https://doi.org/10.1109/comite.2015.7120316>
- Ellis, P., Dowla, F. (2018). A Single Satellite Geolocation Solution of an RF Emitter Using a Constrained Unscented Kalman Filter. 2018 IEEE Statistical Signal Processing Workshop (SSP). doi: <https://doi.org/10.1109/ssp.2018.8450834>
- Ellis, P., Rheeden, D. V., Dowla, F. (2020). Use of Doppler and Doppler Rate for RF Geolocation Using a Single LEO Satellite. *IEEE Access*, 8, 12907–12920. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2020.2965931>
- Nguyen, N. H., Dogancay, K. (2016). Algebraic solution for stationary emitter geolocation by a LEO satellite using Doppler frequency measurements. 2016 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). doi: <https://doi.org/10.1109/icassp.2016.7472296>
- Ellis, P. B., Dowla, F. (2020). Single Satellite Emitter Geolocation in the Presence of Oscillator and Ephemeris Errors. 2020 IEEE Aerospace Conference. doi: <https://doi.org/10.1109/aero47225.2020.9172600>
- Kozhaya, S. E., Kassas, Z. M. (2023). Positioning with Starlink LEO Satellites: A Blind Doppler Spectral Approach. 2023 IEEE 97th Vehicular Technology Conference (VTC2023-Spring). doi: <https://doi.org/10.1109/vtc2023-spring57618.2023.10199264>
- Wang, D., Qin, H., Huang, Z. (2023). Doppler Positioning of LEO Satellites Based on Orbit Error Compensation and Weighting. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 72, 1–11. doi: <https://doi.org/10.1109/tim.2023.3286001>
- Jun, W. W., Cheung, K.-M., Lightsey, E. G. (2023). Improved Surface Positioning with Measurement Differences in Joint Doppler and Ranging. 2023 IEEE Aerospace Conference. doi: <https://doi.org/10.1109/aero55745.2023.10115954>
- Mohamad Hashim, I. S., Al-Hourani, A., Ristic, B. (2022). Satellite Localization of IoT Devices Using Signal Strength and Doppler Measurements. *IEEE Wireless Communications Letters*, 11 (9), 1910–1914. doi: <https://doi.org/10.1109/lwc.2022.3187065>
- Aigul, K., Altay, A., Yevgeniya, D., Bekbolat, M., Zhadyra, O. (2022). Improvement of Signal Reception Reliability at Satellite Spectrum Monitoring System. *IEEE Access*, 10, 101399–101407. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2022.3206953>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.286528**

## DESIGN AND IMPLEMENT A REAL-TIME NETWORK TRAFFIC MANAGEMENT SYSTEM USING SNMP PROTOCOL (p. 35–44)

**Ahmed Hazim Alhilali**

University of Kufa, Najaf Governorate, Iraq

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0085-9037>

**Ali Al Farawn**

University of Kufa, Najaf Governorate, Iraq

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3615-6467>

**Ahmed Yaseen Mjhoor**

University of Kufa, Najaf Governorate, Iraq

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4357-3971>

The research focuses on designing and implementing a system for managing incoming server traffic using the Simple Network Management Protocol (SNMP). The essence of the method is to provide a real-time monitoring system that empowers network managers to oversee all network activities efficiently. The key difference of the developed system lies in using the SNMP protocol to monitor and control the network without needing a third-party tool. The proposed approach addresses administrators' common network challenges, including inefficient bandwidth utilization and complex network resource monitoring. Upon implementation, the system gathered essential network equipment information from the Management Information Base (MIB). The research results indicate that the SNMP-

based network management system prevents network devices from reaching their allotted bandwidth limits. The system notably reduces CPU utilization from 28 % to 8 % and decreases bandwidth usage from 1.7 MiB/s to 260 bytes/s. Additionally, the system's alerting capability enhances the network's resilience against incoming traffic anomalies that may otherwise interrupt server operations. An example of using the proposed system to manage incoming server traffic in small networks. It has several practical uses in managing and maintaining network infrastructure in different fields. Also, it enables real-time monitoring of network devices, resource management, fault detection, and performance optimization. The system can be used in small organizations to monitor network performance, track faults, and manage network resources efficiently. In addition, SNMP-based network monitoring systems can find applications in almost any field where networked devices and infrastructure require monitoring, management, and optimization.

**Keywords:** SNMP, Real-time monitoring and management system, MIB, Traffic server management.

### References

- Saarikko, T., Westergren, U. H., Blomquist, T. (2017). The Internet of Things: Are you ready for what's coming? *Business Horizons*, 60 (5), 667–676. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2017.05.010>
- Mjhool, A. Y., Alsabah, R., Aljshamee, M., Alajwadi, M., Al-Sabbagh, A. (2021). E-learning Trends and Internet challenges in Iraq. *International Journal of Computing and Digital Systems*, 10 (1), 1407–1414. doi: <https://doi.org/10.12785/ijcds/1001124>
- Aitymova, A., Shaporeva, A., Kopnova, O., Kushumbayev, A., Aitymov, Z. (2022). Development and modeling of combined components of the information environment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (2 (116)), 51–60. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.255084>
- Wairisal, M., Surantha, N. (2018). Design and Evaluation of Efficient Bandwidth Management for a Corporate Network. 2018 International Conference on Information Management and Technology (ICIMTech). doi: <https://doi.org/10.1109/icimtech.2018.8528162>
- Namee, K., Vantaneeyakul, C., Polpinij, J., Albadrani, G. M., Namee, S. (2020). Integration of Cloud Computing with Internet of Things for Network Management and Performance Monitoring. 2020 18th International Conference on ICT and Knowledge Engineering (ICT&KE). doi: <https://doi.org/10.1109/ictke50349.2020.9289876>
- Chris, H. (2019). What's Not So Simple about SNMP? *Information Security Management*, 93–106. doi: <https://doi.org/10.1201/9781351073547-8>
- S, K. E., A, L. A. S. I., Widiartha, I. B. K. (2016). Perancangan Network Monitoring Tools Menggunakan Autonomous Agent Java. *Lontar Komputer : Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi*, 7 (2), 115–121. doi: <https://doi.org/10.24843/lkjiti.2016.v07.i02.p05>
- Miftah, Z. (2019). Penerapan sistem monitoring jaringan dengan protokol snmp pada router mikrotik dan aplikasi dude studi kasus stikom cki. *Faktor Exacta*, 12 (1), 58. doi: <https://doi.org/10.30998/faktorexacta.v12i1.3481>
- Buchyk, S., Yudin, O., Ziubina, R., Bondarenko, I., Suprun, O. (2021). Devising a method of protection against zero-day attacks based on an analytical model of changing the state of the network sandbox. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (9 (109)), 50–57. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225646>
- Majidha Fathima, K. M. (2021). A Survey of the Exemplary Practices in Network Operations and Management. *Algorithms for Intelligent Systems*, 181–194. doi: [https://doi.org/10.1007/978-981-15-8530-2\\_14](https://doi.org/10.1007/978-981-15-8530-2_14)
- Espinel Villalobos, R. I., Ardila Triana, E., Zarate Ceballos, H., Ortiz Triviño, J. E. (2021). Design and Implementation of Network Monitoring System for Campus Infrastructure Using Software Agents. *Ingeniería e Investigación*, 42 (1), e87564. doi: <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v42n1.87564>
- Falih Kadhim, M., Al-Janabi, A., Hazim Alhilali, A., Salih Ali, N. (2022). Security approach for instant messaging applications: viber as a case study. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 26 (2), 1109. doi: <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v26.i2.pp1109-1115>
- Rasyiidin, M. Y. B., Murad, F. A., Murad, F. A. (2021). Monitoring Server Berbasis SNMP Menggunakan Cacti pada Server Lokal. *Jurnal Ilmiah FIFO*, 13 (1), 14. doi: <https://doi.org/10.22441/fifo.2021.v13i1.002>
- Matoušek, P., Rysavý, O., Polčák, L. (2021). Unified SNMP Interface for IoT Monitoring. In 2021 IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM), 938–943. Available at: <http://dl.ifip.org/db/conf/im/im2021-ws3-manage-iot/213211.pdf>
- Li, H. (2019). Design and Implementation of Spacecraft Network Monitoring System based on SNMP. 2019 IEEE 3rd Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC). doi: <https://doi.org/10.1109/imceec46724.2019.8983796>
- Da Costa, E., Mesquita, S. (2022). Computer Network Management and Monitoring System With SNMP and QoS Approach. *Timor-Leste Journal of Engineering and Science*, 3 (1), 19–27. Available at: <https://tljes.org/index.php/tljes/article/download/30/13>
- Barannik, V., Sidchenko, S., Barannik, N., Barannik, V. (2021). Development of the method for encoding service data in cryptocompression image representation systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (9 (111)), 103–115. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.235521>
- Madi, N., Al-kasassbeh, M. (2019). Collecting MIB data from network managed by SNMP using multi mobile agents. *arXiv*. doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1909.02547>
- Safrianti, E., Sari, L. O., Sari, N. A. (2021). Real-Time Network Device Monitoring System with Simple Network Management Protocol (SNMP) Model. 2021 3rd International Conference on Research and Academic Community Services (ICRACOS). doi: <https://doi.org/10.1109/icracos53680.2021.9701973>
- Sheeraz, M., Paracha, M. A., Haque, M. U., Durad, M. H., Mohsin, S. M., Band, S. S., Mosavi, A. (2023). Effective Security Monitoring Using Efficient SIEM Architecture. *Human-centric Computing and Information Sciences*, 13. doi: <https://doi.org/10.22967/HGIS.2023.13.023>
- Valencic, D., Mateljan, V. (2019). Implementation of NETCONF Protocol. 2019 42nd International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO). doi: <https://doi.org/10.23919/mipro.2019.8756925>
- Maulana, F. (2016). Implementasi Simple Network Management Protocol (Snmp) Pada Aplikasi Monitoring Jaringan Berbasis Website (Studi Kasus Universitas Muhammadiyah Bengkulu). *Jurnal Informatika*, 16 (2), 126–135. Available at: <https://jurnal.darmajaya.ac.id/index.php/JurnalInformatika/article/view/947/pdf>

23. The SNMP architecture. IBM. Available at: <https://www.ibm.com/docs/en/informix-servers/14.10?topic=concepts-snmp-architecture>
24. Nidhishree, G., Manimala, S. (2017). Design and Implementation of SNMP based Network Device Monitoring System. *International Journal of Trend in Research and Development (IJTRD)*, 4 (3), 383–385. Available at: <http://www.ijtrd.com/ViewFullText.aspx?Id=9632>
25. Hammood, N. H., Al-Musawi, B., Alhilali, A. H. (2022). A Survey of BGP Anomaly Detection Using Machine Learning Techniques. *Communications in Computer and Information Science*, 109–120. doi: [https://doi.org/10.1007/978-981-19-1166-8\\_9](https://doi.org/10.1007/978-981-19-1166-8_9)
26. Global OID reference database. Available at: <https://oidref.com/>
27. SNMP MIB. Oracle. Available at: [https://docs.oracle.com/cd/E13203\\_01/tuxedo/tux91/snmpmref/1tmib.htm](https://docs.oracle.com/cd/E13203_01/tuxedo/tux91/snmpmref/1tmib.htm)
28. Lee, H.-J. (2023). Dynamic Context Awareness of Universal Middleware based for IoT SNMP Service Platform. *Tehnički Glasnik*, 17 (2), 185–191. doi: <https://doi.org/10.31803/tg-20221221115431>
29. Simulating Network Architectures with GNS3 (2020). *Systems and Network Infrastructure Integration*, 9–25. doi: <https://doi.org/10.1002/9781119779964.ch2>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.287677**

**CONSTRUCTION OF A SIMULATED DYNAMIC MODEL OF DATA PACKET ROUTING ON A TELECOMMUNICATION NETWORK FRAGMENT (p. 45–52)**

**Oleksandr Turovsky**

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4961-0876>

**Andrii Zakhazhevskyi**

The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7019-9949>

**Anatoliy Makarenko**

State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4081-328X>

**Larysa Dakova**

State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6104-8217>

The object of the current research is the process of routing data packets in a telecommunications network. It was established that the state and parameters of data transmission channels and routers could have a negative impact and need to be taken into account in the process of modeling the routing of data packets in telecommunication networks.

A model of simulated dynamic modeling of data packet routing in telecommunication networks has been devised and proposed. The suggested model makes it possible to establish quantitative values of the delay time of processing data packets during their routing along a separate segment of the telecommunications network, taking into account the state and parameters of the data transmission channel and routers.

It has been established that the achievement of the minimum delay time of data packets during routing is achieved by choosing the path of their transmission under the condition of minimum transmission time by communication lines and the capabilities of routers in terms of their accumulation and service speed. At the same time, the reduction of packet transmission delay time relative to the average

for the time network segment can reach from 21 to 38 percent. It is shown that the main factor affecting the value of the delay time is the speed of data processing along the selected path of packet transmission. The number of routing nodes in a separate data transmission path can affect the delay time only if the parameters of the routers are equal compared to others that are included in alternative routes.

The model of simulated dynamic modeling of data packet routing reported in this work, unlike the existing ones, takes into account the state and parameters of data transmission channels and routers. It can be used in practical improvement of existing and development of new multi-service telecommunication communication networks.

**Keywords:** multi-service telecommunication network, simulation dynamic modeling, data packet transmission delay time.

**References**

1. Popovskiy, V. V., Lemeshko, O. V., Kovalchuk, V. K., Plotnikov, M. D., Kartushyn, Yu. P. et al. (2018). *Telekomunikatsiyini systemy ta mer ezhi. Struktura y osnovni funktsiyi. Vol. 1.* Kharkiv: KhNURE.
2. Medhi, D., Ramasamy, K. (2007). *Network routing: algorithms, protocols, and architectures.* Morgan Kaufmann Publishers, 788.
3. Yeremenko, O. (2016). Development of the dynamic tensor model for traffic management in a telecommunication network with the support of different classes of service. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (9 (84)), 12–19. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.85602>
4. Crainic, T. G., Gendron, B., Akhavan Kazemzadeh, M. R. (2022). A taxonomy of multilayer network design and a survey of transportation and telecommunication applications. *European Journal of Operational Research*, 303 (1), 1–13. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.12.028>
5. Wu, X., Lü, Z., Glover, F. (2020). A matheuristic for a telecommunication network design problem with traffic grooming. *Omega*, 90, 102003. doi: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2018.11.012>
6. Wedde, H. F., Farooq, M. (2006). A comprehensive review of nature inspired routing algorithms for fixed telecommunication networks. *Journal of Systems Architecture*, 52 (8-9), 461–484. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sysarc.2006.02.005>
7. Gicquel, C., Vanier, S., Papadimitriou, A. (2022). Optimal deployment of virtual network functions for securing telecommunication networks against distributed denial of service attacks: A robust optimization approach. *Computers & Operations Research*, 146, 105890. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2022.105890>
8. Baffier, J.-F., Poirion, P.-L., Suppakitpaisarn, V. (2018). Bilevel Model for Adaptive Network Flow Problem. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 64, 105–114. doi: <https://doi.org/10.1016/j.endm.2018.01.012>
9. Lin, D., Lin, Z., Kong, L., Guan, Y. L. (2023). CMSTR: A Constrained Minimum Spanning Tree Based Routing Protocol for Wireless Sensor Networks. *Ad Hoc Networks*, 146, 103160. doi: <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2023.103160>
10. Suma, S., Harsoor, B. (2022). An optimized routing scheme for congestion avoidance using mobile nodes in Wireless Sensor Network. *Measurement: Sensors*, 24, 100457. doi: <https://doi.org/10.1016/j.measen.2022.100457>
11. Borisovsky, P., Eremeev, A., Hrushev, S., Teplyakov, V. (2022). Experimental Evaluation of Algorithms for Packet Routing in Software Defined Network. *IFAC-PapersOnLine*, 55 (10), 584–589. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.457>

12. Popovskiy, V. V., Lemeshko, A. V., Yevsieieva, O. Yu. (2009). Dynamicheskoe upravlenye resursamy TKS: matematychni modeli v prostori stanu. *Naukovi zapysky UNDIZ*, 1 (9), 3–26.
13. Popovskiy, V. V., Lemeshko, A. V., Yevsieieva, O. Yu. (2011). Matematychni modeli telekomunikatsiynykh system. *Chastyna 1. Matematycheskye modely funktsionalnykh svoistv telekomunikatsiynykh system. Problemy telekomunikatsiy*, 2 (4), 3–41.
14. Lemeshko, A. V., Evseeva, O. Yu., Garkusha, S. V. (2014). Research on tensor model of multipath routing in telecommunication network with support of service quality by greates number of indices. *Telecommunications and Radio Engineering*, 73 (15), 1339–1360. doi: <https://doi.org/10.1615/telecomradeng.v73.i15.30>
15. Kuchuk, N., Gavrylenko, S., Sobchuk, V., Lukova-Chuiko, N. (2019). Redistribution of information flows in a hyperconvergent system. *Advanced Information Systems*, 3 (2), 116–121. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.2.20>
16. Gnatyuk, S., Kinzeryavy, V., Kyrychenko, K., Yubuzova, K., Aleksander, M., Odarchenko, R. (2019). Secure Hash Function Constructing for Future Communication Systems and Networks. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 561–569. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-12082-5\\_51](https://doi.org/10.1007/978-3-030-12082-5_51)
17. Brumnik, R., Kovtun, V., Okhrimenko, A., Kavun, S. (2014). Techniques for Performance Improvement of Integer Multiplication in Cryptographic Applications. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014, 1–7. doi: <https://doi.org/10.1155/2014/863617>
18. Odarchenko, R., Gnatyuk, V., Gnatyuk, S., Abakumova, A. (2018). Security Key Indicators Assessment for Modern Cellular Networks. 2018 IEEE First International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC). doi: <https://doi.org/10.1109/saic.2018.8516889>
19. Berkman, L., Turovsky, O., Kyrpach, L., Varfolomeeva, O., Dmytrenko, V., Pokotylo, O. (2021). Analyzing the code structures of multidimensional signals for a continuous information transmission channel. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (113)), 70–81. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.242357>
20. Mohammed, M. M., Viktor, Z., Yurii, K., Lyubov, B., Konstantyn, P., Turovsky, O. L. (2022). Methods for assessing the impact of bandwidth of control channels on the quality of telecommunications networks in the transmission of data packets of different types. *International Journal of Communication Networks and Information Security (IJCNIS)*, 13 (2). doi: <https://doi.org/10.17762/ijcnis.v13i2.5034>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.289467**

**DEVELOPMENT OF A MULTI-LOOP SECURITY SYSTEM OF INFORMATION INTERACTIONS IN SOCIO-CYBERPHYSICAL SYSTEMS (p. 53–74)**

**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>

**Nataliia Dzheniuk**

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

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0758-7935>

**Maksym Tolkachov**

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

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7853-5855>

**Tetiana Voitko**

National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4326-0633>

**Mykhailo Prygara**

Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0954-4480>

**Natalia Voropay**

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

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1321-7324>

**Oleksandr Shpak**

Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1179-7196>

**Andrii Volkov**

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1566-9893>

**Oleksandr Lezik**

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7186-6683>

The object of the study is a multi-loop security system of information interactions in socio-cyberphysical systems. The dynamic nature of physical environments inherently challenges the ability of socio-cyber-physical systems to perform adequate control actions for physical assets in many contexts. However, adaptation and evolution actions must be evaluated before implementation in the control system to ensure fault tolerance while minimizing risks. Therefore, the design of socio-cyber-physical systems must ensure not only reliable autonomy, but also operational fault tolerance and safety. The proposed approach is based on the integration of targeted (mixed) threats based on the synthesis of technical cyber threats with social engineering methods. This approach allows forming a dynamic security model based on the analysis of the interaction of various agents in socio-cyberphysical systems, which makes it possible to increase the level of counteraction to targeted (mixed) cyber threats.

The results of modeling are based on the proposed classification of threats using social engineering methods, which allows cyberattackers to ensure the probability of implementing targeted threats up to 95–98 %. The proposed classification of threats based on social engineering methods will allow forming an additional parameter for the objectivity of target threats, taking into account their integration and synergy. At the same time, the presented model will make it possible to timely provide knowledge about the possibility of implementing a targeted attack and timely take preventive countermeasures. This approach will improve the set of protection measures, as well as promptly create an increase in the level of resistance of the company’s personnel (organization, enterprise, etc.) to threats of social engineering.

**Keywords:** socio-cyber-physical system, security model of information interactions, social engineering, targeted attacks.

**References**

1. Graf, S., Quinton, S., Girault, A., Gössler, G. (2018). Building Correct Cyber-Physical Systems: Why We Need a Multiview Contract



- Theory. *Lecture Notes in Computer Science*, 19–31. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-00244-2\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-00244-2_2)
2. Bereket Abera, Y., Naudet, Y., Panetto, H. (2020). A new Paradigm and Meta-Model for Cyber-Physical-Social Systems. *IFAC-PapersOnLine*, 53 (2), 10949–10954. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.2841>
  3. Yilma, B. A., Naudet, Y., Panetto, H. (2019). Introduction to Personalisation in Cyber-Physical-Social Systems. *Lecture Notes in Computer Science*, 25–35. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-11683-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-11683-5_3)
  4. Yilma, B. A., Panetto, H., Naudet, Y. (2019). A Meta-Model of Cyber-Physical-Social System: The CPSS Paradigm to Support Human-Machine Collaboration in Industry 4.0. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 11–20. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-28464-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-28464-0_2)
  5. Naudet, Y., Yilma, B. A., Panetto, H. (2018). Personalisation in Cyber Physical and Social Systems: the Case of Recommendations in Cultural Heritage Spaces. 2018 13th International Workshop on Semantic and Social Media Adaptation and Personalization (SMAP). doi: <https://doi.org/10.1109/smap.2018.8501890>
  6. Zeng, J., Yang, L. T., Lin, M., Ning, H., Ma, J. (2020). A survey: Cyber-physical-social systems and their system-level design methodology. *Future Generation Computer Systems*, 105, 1028–1042. doi: <https://doi.org/10.1016/j.future.2016.06.034>
  7. Sheth, A., Anantharam, P., Henson, C. (2013). Physical-Cyber-Social Computing: An Early 21st Century Approach. *IEEE Intelligent Systems*, 28 (1), 78–82. doi: <https://doi.org/10.1109/mis.2013.20>
  8. Wang, F.-Y. (2010). The Emergence of Intelligent Enterprises: From CPS to CPSS. *IEEE Intelligent Systems*, 25 (4), 85–88. doi: <https://doi.org/10.1109/mis.2010.104>
  9. Dzhenuik, N., Yevseiev, S., Opirskyy, I., Voropay, N., Korolev, R., Sydorenko, Z. (2023). Sociocyberphysical System Wireless Air Network Topology Synthesis Model. *Mizhnarodnyi naukovo-praktychnyi forum «Tsyfrova realnist»*. Kiberbezpeka ta informatsiyni tekhnolohiyi v umovakh hibrydnykh viyn. Kharkiv-Odesa, 4–10.
  10. Horváth, I., Rusák, Z., Li, Y. (2017). Order Beyond Chaos: Introducing the Notion of Generation to Characterize the Continuously Evolving Implementations of Cyber-Physical Systems. Volume 1: 37th Computers and Information in Engineering Conference. doi: <https://doi.org/10.1115/detc2017-67082>
  11. Tanik, U. J., Begley, A. (2013). An Adaptive Cyber-Physical System Framework for Cyber-Physical Systems Design Automation. *Applied Cyber-Physical Systems*, 125–140. doi: [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7336-7\\_11](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7336-7_11)
  12. Yin, D., Ming, X., Zhang, X. (2020). Understanding Data-Driven Cyber-Physical-Social System (D-CPSS) Using a 7C Framework in Social Manufacturing Context. *Sensors*, 20 (18), 5319. doi: <https://doi.org/10.3390/s20185319>
  13. Hao, K. (2020). OpenAI is giving Microsoft exclusive access to its GPT-3 language model. *MIT Technology Review*. Available at: <https://www.technologyreview.com/2020/09/23/1008729/openai-is-giving-microsoft-exclusive-access-to-its-gpt-3-language-model/>
  14. Goldstein, J. A., Sastry, G., Musser, M., DiResta, R., Gentzel, M., Sedova, K. (2023). Generative Language Models and Automated Influence Operations: Emerging Threats and Potential Mitigations. Available at: <https://cdn.openai.com/papers/forecasting-misuse.pdf>
  15. Tabassi, E. (2023). Artificial Intelligence Risk Management Framework. NIST AI 100-1. NIST. doi: <https://doi.org/10.6028/nist.ai.100-1>
  16. Wang, Z., Sun, L., Zhu, H. (2020). Defining Social Engineering in Cybersecurity. *IEEE Access*, 8, 85094–85115. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2020.2992807>
  17. NIST Special Publication 1270. Proposes a framework for identifying and managing bias in artificial intelligence.
  18. Foster, D. (2023). *Generative Deep Learning*. O'Reilly Media, Inc.
  19. Yevseiev, S., Milevskiy, S., Bortnik, L., Alexey, V., Bondarenko, K., Pohasii, S. (2022). Socio-Cyber-Physical Systems Security Concept. 2022 International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA). doi: <https://doi.org/10.1109/hora55278.2022.9799957>
  20. Wang, Z., Zhu, H., Sun, L. (2021). Social Engineering in Cybersecurity: Effect Mechanisms, Human Vulnerabilities and Attack Methods. *IEEE Access*, 9, 11895–11910. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2021.3051633>
  21. Prete, E. D., Pera, F., Faramondi, L., Fioravanti, C., Guarino, S., Oliva, G., Setola, R. (2020). Anomaly and Attack Detection in Supervisory Control Networks for Cyber-Physical Systems. *Proceedings of the 30th European Safety and Reliability Conference and 15th Probabilistic Safety Assessment and Management Conference*. doi: [https://doi.org/10.3850/978-981-14-8593-0\\_4315-cd](https://doi.org/10.3850/978-981-14-8593-0_4315-cd)
  22. Toublanc, T., Guillet, S., de Lamotte, F., Berruet, P., Lapotre, V. (2017). Using a Virtual Plant to Support the Development of Intelligent Gateway for Sensors/Actuators Security. *IFAC-PapersOnLine*, 50 (1), 5837–5842. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.541>
  23. Calefato, F., Lanubile, F., Novielli, N. (2017). A Preliminary Analysis on the Effects of Propensity to Trust in Distributed Software Development. 2017 IEEE 12th International Conference on Global Software Engineering (ICGSE). doi: <https://doi.org/10.1109/icgse.2017.1>
  24. Lombardi, M., Vannuccini, S. (2022). Understanding emerging patterns and dynamics through the lenses of the cyber-physical universe. *Patterns*, 3 (11), 100601. doi: <https://doi.org/10.1016/j.patter.2022.100601>
  25. Roy, T., Tariq, A., Dey, S. (2022). A Socio-Technical Approach for Resilient Connected Transportation Systems in Smart Cities. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23 (6), 5019–5028. doi: <https://doi.org/10.1109/tits.2020.3045854>
  26. Hamzaoui, M. A., Julien, N. (2022). Social Cyber-Physical Systems and Digital Twins Networks: A perspective about the future digital twin ecosystems. *IFAC-PapersOnLine*, 55 (8), 31–36. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.08.006>
  27. Li, X., Ye, P., Li, J., Liu, Z., Cao, L., Wang, F.-Y. (2022). From Features Engineering to Scenarios Engineering for Trustworthy AI: I&I, C&C, and V&V. *IEEE Intelligent Systems*, 37 (4), 18–26. doi: <https://doi.org/10.1109/mis.2022.3197950>
  28. Lezoche, M., Panetto, H. (2018). Cyber-Physical Systems, a new formal paradigm to model redundancy and resiliency. *Enterprise Information Systems*, 14 (8), 1150–1171. doi: <https://doi.org/10.1080/17517575.2018.1536807>
  29. Sowe, S. K., Simmon, E., Zettsu, K., de Vault, F., Bojanova, I. (2016). Cyber-Physical-Human Systems: Putting People in the Loop. *IT Professional*, 18 (1), 10–13. doi: <https://doi.org/10.1109/mitp.2016.14>
  30. Smirnov, A., Shilov, N., Gusikhin, O. (2017). Cyber-physical-human system for connected car-based e-tourism: Approach and case study scenario. 2017 IEEE Conference on Cognitive and Computational

- Aspects of Situation Management (CogSIMA). doi: <https://doi.org/10.1109/cogsima.2017.7929591>
31. Kumar, S. A. P., Bhargava, B., Macedo, R., Mani, G. (2017). Securing IoT-Based Cyber-Physical Human Systems against Collaborative Attacks. 2017 IEEE International Congress on Internet of Things (ICIOT). doi: <https://doi.org/10.1109/ieee.iciot.2017.11>
  32. Zhu, Y., Tan, Y., Li, R., Luo, X. (2015). Cyber-Physical-Social-Thinking Modeling and Computing for Geological Information Service System. 2015 International Conference on Identification, Information, and Knowledge in the Internet of Things (IIKI). doi: <https://doi.org/10.1109/iiki.2015.48>
  33. Kannisto, J., Makitalo, N., Aaltonen, T., Mikkonen, T. (2016). Programming Model Perspective on Security and Privacy of Social Cyber-physical Systems. 2016 IEEE International Conference on Mobile Services (MS). doi: <https://doi.org/10.1109/mobserv.2016.23>
  34. Xu, Q., Su, Z., Yu, S. (2018). Green Social CPS Based E-Healthcare Systems to Control the Spread of Infectious Diseases. 2018 IEEE International Conference on Communications (ICC). doi: <https://doi.org/10.1109/icc.2018.8422421>
  35. Rose, S., Borchert, O., Mitchell, S., Connelly, S. (2020). Zero Trust Architecture. NIST. doi: <https://doi.org/10.6028/nist.sp.800-207>
  36. Yevseiev, S., Tolkachov, M., Shetty, D., Khvostenko, V., Strelnikova, A., Milevskiy, S., Golovashych, S. (2023). The concept of building security of the network with elements of the semiotic approach. *ScienceRise*, 1, 24–34. doi: <https://doi.org/10.21303/2313-8416.2023.002828>
  37. Gilchrist, A. (2016). *Industry 4.0*. Apress Berkeley, 250. doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-2047-4>
  38. EFFRA. *Factories of the Future: Multi-annual Roadmap for the Contractual PPP under Horizon 2020*. European Commission. Available at: [https://www.effra.eu/sites/default/files/factories\\_of\\_the\\_future\\_2020\\_roadmap.pdf](https://www.effra.eu/sites/default/files/factories_of_the_future_2020_roadmap.pdf)
  39. Monostori, L. (2014). Cyber-physical Production Systems: Roots, Expectations and R&D Challenges. *Procedia CIRP*, 17, 9–13. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.03.115>
  40. Uhlemann, T. H.-J., Lehmann, C., Steinhilper, R. (2017). The Digital Twin: Realizing the Cyber-Physical Production System for Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 61, 335–340. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.152>
  41. Kang, H. S., Lee, J. Y., Choi, S., Kim, H., Park, J. H., Son, J. Y. et al. (2016). Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 3 (1), 111–128. doi: <https://doi.org/10.1007/s40684-016-0015-5>
  42. Sniderman, B., Mahto, M., Cotteleer, M. J. (2016). *Industry 4.0 and Manufacturing Ecosystems – Exploring the World of Connected Enterprises*. Deloitte University Press. Available at: [https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/manufacturing-ecosystems-exploring-world-connected-enterprises/DUP\\_2898\\_Industry4.0ManufacturingEcosystems.pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/manufacturing-ecosystems-exploring-world-connected-enterprises/DUP_2898_Industry4.0ManufacturingEcosystems.pdf)
  43. Hermann, M., Pentek, T., Otto, B. (2016). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. 2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS). doi: <https://doi.org/10.1109/hicss.2016.488>
  44. Goldstein, J. A., Sastry, G., Musser, M., DiResta, R., Gentzel, M., Sedova, K. (2023). Forecasting potential misuses of language models for disinformation campaigns—and how to reduce risk. Stanford. Available at: <https://cyber.fsi.stanford.edu/io/news/forecasting-potential-misuses-language-models-disinformation-campaigns-and-how-reduce-risk>
  45. Kato, T., Kudo, Y., Miyakoshi, J., Otsuka, J., Saigo, H., Karasawa, K. et al. (2020). Rational Choice Hypothesis as X-point of Utility Function and Norm Function. *Applied Economics and Finance*, 7 (4), 63. doi: <https://doi.org/10.11114/aef.v7i4.4890>
  46. Heath, J. (2008). *Following the Rules: Practical Reasoning and Deontic Constraint*. Oxford University Press. doi: <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195370294.001.0001>
  47. Yevseiev, S., Melenti, Y., Voitko, O., Hrebenuk, V., Korchenko, A., Mykus, S., Milov, O. et al. (2021). Development of a concept for building a critical infrastructure facilities security system. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (9 (111)), 63–83. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.233533>
  48. Androshchuk, A., Yevseiev, S., Melenchuk, V., Lemeshko, O., Lemeshko, V. (2020). Improvement of project risk assessment methods of implementation of automated information components of non-commercial organizational and technical systems. *EUREKA: Physics and Engineering*, 1, 48–55. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001131>
  49. Yevseiev, S., Ponomarenko, V., Laptiev, O., Milov, O., Korol, O., Milevskiy, S. et al.; Yevseiev, S., Ponomarenko, V., Laptiev, O., Milov, O. (Eds.) (2021). Synergy of building cybersecurity systems. Kharkiv: PC TECHNOLOGY CENTER, 188. doi: <https://doi.org/10.15587/978-617-7319-31-2>
  50. Yevseiev, S., Hryshchuk, R., Molodetska, K., Nazarkevych, M., Hrytsky, V., Milov, O. et al.; Yevseiev, S., Hryshchuk, R., Molodetska, K., Nazarkevych, M. (Eds.) (2022). Modeling of security systems for critical infrastructure facilities. Kharkiv: PC TECHNOLOGY CENTER, 196. doi: <https://doi.org/10.15587/978-617-7319-57-2>
  51. Yevseiev, S., Khokhlov, Yu., Ostapov, S., Laptiev, O., Korol, O., Milevskiy, S. et al.; Yevseiev, S., Khokhlov, Yu., Ostapov, S., Laptiev, O. (Eds.) (2023). Models of socio-cyber-physical systems security. Kharkiv: PC TECHNOLOGY CENTER, 184. doi: <https://doi.org/10.15587/978-617-7319-72-5>
  52. Shmatko, O., Balakireva, S., Vlasov, A., Zagorodna, N., Korol, O., Milov, O. et al. (2020). Development of methodological foundations for designing a classifier of threats to cyberphysical systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (9 (105)), 6–19. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.205702>
  53. Angiulli, F., Fassetti, F., Serrao, C. (2023). Anomaly detection with correlation laws. *Data & Knowledge Engineering*, 145, 102181. doi: <https://doi.org/10.1016/j.datak.2023.102181>
  54. Bonabeau, E. (2002). Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99, 7280–7287. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.082080899>
  55. Macal, C. M. (2016). Everything you need to know about agent-based modelling and simulation. *Journal of Simulation*, 10 (2), 144–156. doi: <https://doi.org/10.1057/jos.2016.7>
  56. Walker, J. J. (2012). Cyber security concerns for emergency management. *Emergency Management*. doi: <https://doi.org/10.5772/34104>
  57. Ali, N. S. (2016). A four-phase methodology for protecting web applications using an effective real-time technique. *International Journal of Internet Technology and Secured Transactions*, 6 (4), 303. doi: <https://doi.org/10.1504/ijitst.2016.10003854>

58. Park, K.-J., Zheng, R., Liu, X. (2012). Cyber-physical systems: Milestones and research challenges. *Computer Communications*, 36 (1), 1–7. doi: <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2012.09.006>
59. Hansman, S., Hunt, R. (2005). A taxonomy of network and computer attacks. *Computers & Security*, 24 (1), 31–43. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cose.2004.06.011>
60. Goel, S., Chen, V. (2005). Information security risk analysis – a matrix-based approach. Proceedings of the Information Resource Management Association (IRMA) International Conference. San Diego. Available at: <https://www.walbany.edu/~GOEL/publications/goelchen2005.pdf>
61. Kjaerland, M. (2006). A taxonomy and comparison of computer security incidents from the commercial and government sectors. *Computers & Security*, 25 (7), 522–538. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cose.2006.08.004>
62. Blackwell, C. (2010). A security ontology for incident analysis. Proceedings of the Sixth Annual Workshop on Cyber Security and Information Intelligence Research. doi: <https://doi.org/10.1145/1852666.1852717>
63. Ahmad, R., Yunos, Z. (2012). A dynamic cyber terrorism framework. *International Journal of Computer Science and Information Security*, 10 (2), 149–158.
64. Judin, O. K. (2015). Derzhavni informaciyi resursi [State information resources]. Metodologiya pobudovi klasifikatora zagroz. Kyiv: NAU, 214.
65. Sznajd-Weron, K., Sznajd, J. (2000). Opinion evolution in closed community. *International Journal of Modern Physics C*, 11 (06), 1157–1165. doi: <https://doi.org/10.1142/s0129183100000936>
66. Deffuant, G., Neau, D., Amblard, F., Weisbuch, G. (2000). Mixing beliefs among interacting agents. *Advances in Complex Systems*, 03, 87–98. doi: <https://doi.org/10.1142/s0219525900000078>
67. Hegselmann, R., Krause, U. (2002). Opinion dynamics and bounded confidence: Models, analysis and simulation. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 5 (3). Available at: <https://www.jasss.org/5/3/2.html>
68. Weimer, C. W., Miller, J. O., Hill, R. R. (2016). Agent-based modeling: An introduction and primer. 2016 Winter Simulation Conference (WSC). doi: <https://doi.org/10.1109/wsc.2016.7822080>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.285275

**DEVELOPMENT OF HYBRID INTRUSION DETECTION SYSTEM BASED ON SURICATA WITH PFSENSE METHOD FOR HIGH REDUCTION OF DDOS ATTACKS ON IPV6 NETWORKS (p. 75–84)**

**Supriyanto Praptodiyono**

Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0047-9539>

**Teguh Firmansyah**

Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9000-9337>

**Muhamad Haerul Anwar**

Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-4109-3984>

**Cakra Adipura Wicaksana**

Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0515-3478>

**Anggoro Suryo Pramudyo**

Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0646-336X>

**Ali Al-Allawee**

University of Haute Alsace, Colmar, France  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3108-9098>

Distributed Denial of Service (DDoS) attacks is a problem in computer networks. DDoS attacks pose a significant threat to internet networks as they cause congestion and disrupt the optimal functioning of servers. Detecting the source of these attacks is essential for effective protection. Therefore, in this study, we propose a hybrid strategy that combines Suricata, an intrusion detection system (IDS), with pfSense, a firewall, to address DDoS attacks. Suricata, the IDS, can identify the destination of the attack, which allows pfSense, the Firewall, to block the attack by dropping packets sent by the attacker. As a result, by leveraging this combined approach, we have observed significant improvements in the quality of service (QoS). The results of our study indicate a 1.08 % increase in throughput value, from 1881.97 bytes to 902.44 bytes, demonstrating improved efficiency in data transmission. Additionally, we observed a 57.32 % increase in the average total number of packets sent, from 1382 packets to 3238 packets, indicating better network performance. Furthermore, the proposed strategy significantly reduced delay and jitter values. The delay value decreased by 88.78 %, from 90.76 ms to 10.18 ms, and the jitter value decreased by 88.99 %, from 181.85 ms to 20.03 ms. These improvements signify a notable reduction in latency and packet timing variations, leading to a smoother network experience. Another crucial aspect we evaluated was the CPU utilization. The proposed strategy resulted in a substantial decrease in CPU utilization by 81.23 %, from 78.3 % to 14.7 %. The combination of pfSense and Suricata has proven to be a successful approach, providing robust protection against DDoS attacks, including those utilizing IPv6. This research can be implemented as a solution on a campus ad-hoc network with limited computers.

**Keywords:** CPU utilization, DDoS attacks, Jitter, pfSense, Suricata, DDoS, IDS, IPv6.

**References**

- Choi, K.-S., Lee, C. S., Louderback, E. R. (2020). Historical Evolutions of Cybercrime: From Computer Crime to Cybercrime. *The Palgrave Handbook of International Cybercrime and Cyberdeviance*, 27–43. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-78440-3\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-78440-3_2)
- Al-Khater, W. A., Al-Maadeed, S., Ahmed, A. A., Sadiq, A. S., Khan, M. K. (2020). Comprehensive Review of Cybercrime Detection Techniques. *IEEE Access*, 8, 137293–137311. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2020.3011259>
- Cascavilla, G., Tamburri, D. A., Van Den Heuvel, W.-J. (2021). Cybercrime threat intelligence: A systematic multi-vocal literature review. *Computers & Security*, 105, 102258. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cose.2021.102258>
- Staroletov, S. (2022). Software Architecture for an Intelligent Firewall Based on Linux Netfilter. 2022 25th Conference on Innovation in Clouds, Internet and Networks (ICIN). doi: <https://doi.org/10.1109/icin53892.2022.9758121>
- Cinar, A. C., Kara, T. B. (2023). The current state and future of mobile security in the light of the recent mobile security threat reports. *Multimedia Tools and Applications*, 82 (13), 20269–20281. doi: <https://doi.org/10.1007/s11042-023-14400-6>
- Oloyede, O. A., Yekini, A. N., Akinwale, K. A., Ojo, O. (2021). Firewall Approach To Computer Network Security: Functional

- Viewpoint. *International Journal of Advanced Networking and Applications*, 13 (03), 4993–5000. doi: <https://doi.org/10.35444/ijana.2021.13308>
7. Heino, J., Hakkala, A., Virtanen, S. (2022). Study of methods for endpoint aware inspection in a next generation firewall. *Cybersecurity*, 5 (1). doi: <https://doi.org/10.1186/s42400-022-00127-8>
  8. Ho, H. T. N., Luong, H. T. (2022). Research trends in cybercrime victimization during 2010–2020: a bibliometric analysis. *SN Social Sciences*, 2 (1). doi: <https://doi.org/10.1007/s43545-021-00305-4>
  9. Moneva, A., Leukfeldt, E. R., Klijnssoon, W. (2022). Alerting consciences to reduce cybercrime: a quasi-experimental design using warning banners. *Journal of Experimental Criminology*. doi: <https://doi.org/10.1007/s11292-022-09504-2>
  10. La Rosa, G. (2021). *The 5G Technology Nexus: Assessing Threats and Risks of Implementation*. Univerzita Karlova.
  11. Afolaranmi, A. O. (2022). Towards Understanding the Nexus between Pastoral Care, Social Media, and Sustainable Development in the Post-COVID-19 Era. doi: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1630706/v1>
  12. Gundur, R. V., Levi, M., Topalli, V., Ouellet, M., Stolyarova, M., Chang, L. Y.-C., Mejía, D. D. (2021). Evaluating Criminal Transactional Methods in Cyberspace as Understood in an International Context. *CrimRxiv*. doi: <https://doi.org/10.21428/cb6ab371.5f335e6f>
  13. Chowdhury, N., Gkioulos, V. (2021). Cyber security training for critical infrastructure protection: A literature review. *Computer Science Review*, 40, 100361. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2021.100361>
  14. Gupta, B. B., Perez, G. M., Agrawal, D. P., Gupta, D. (Eds.) (2020). *Handbook of Computer Networks and Cyber Security*. Springer Cham, 959. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-22277-2>
  15. Rawat, S., Srinivasan, A., Ravi, V., Ghosh, U. (2020). Intrusion detection systems using classical machine learning techniques vs integrated unsupervised feature learning and deep neural network. *Internet Technology Letters*, 5 (1). doi: <https://doi.org/10.1002/itl2.232>
  16. Reshmi, T. R. (2021). Information security breaches due to ransomware attacks - a systematic literature review. *International Journal of Information Management Data Insights*, 1 (2), 100013. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijime.2021.100013>
  17. Balakrishnan, N., Rajendran, A., Pelusi, D., Ponnusamy, V. (2021). Deep Belief Network enhanced intrusion detection system to prevent security breach in the Internet of Things. *Internet of Things*, 14, 100112. doi: <https://doi.org/10.1016/j.iot.2019.100112>
  18. Naeem, M. A. A., Abubakar, A., Rahman, M. M. H. (2020). Dealing With Well-Formed and Malformed Packets, Associated With Point of Failure That Cause Network Security Breach. *IEEE Access*, 8, 197554–197566. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2020.3034383>
  19. Ouiazzane, S., Addou, M., Barramou, F. (2022). A Suricata and Machine Learning Based Hybrid Network Intrusion Detection System. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 474–485. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-91738-8\\_43](https://doi.org/10.1007/978-3-030-91738-8_43)
  20. Gupta, A., Sharma, L. S. (2019). Performance Evaluation of Snort and Suricata Intrusion Detection Systems on Ubuntu Server. *Proceedings of ICRIC 2019*, 811–821. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-29407-6\\_58](https://doi.org/10.1007/978-3-030-29407-6_58)
  21. Praptodiyono, S., Firmansyah, T., Murugesan, R. K., Alaydrus, M., Aprilia, R., Leau, Y.-B. (2021). Improving the security of mobile IPV6 signalling using KECCAK / SHA-3. *Journal of Engineering Science and Technology*, 16 (3), 2312–2325. Available at: [https://jestec.taylors.edu.my/Vol%2016%20issue%203%20June%202021/16\\_3\\_33.pdf](https://jestec.taylors.edu.my/Vol%2016%20issue%203%20June%202021/16_3_33.pdf)
  22. Scarfone, K. A., Mell, P. M. (2007). *Guide to Intrusion Detection and Prevention Systems (IDPS)*. NIST. doi: <https://doi.org/10.6028/nist.sp.800-94>
  23. Shams, M., Sookhak, M., Gani, A., Buyya, R., Talebian, H. (2016). A comprehensive survey of network virtualization. *Computer Networks*, 108, 147–176.
  24. Ramachandran, A., Feamster, N. (2006). Understanding the network-level behavior of spammers. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 36 (4), 291–302. doi: <https://doi.org/10.1145/1151659.1159947>
  25. Mirkovic, J., Reiher, P. (2004). A taxonomy of DDoS attack and DDoS defense mechanisms. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 34 (2), 39–53. doi: <https://doi.org/10.1145/997150.997156>
  26. Karasaridis, A., Manousakis, K. (2017). Detection and mitigation of DDoS attacks using SDN: A comprehensive survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20 (3), 2233–2271.
  27. *The Treacherous 12: Top Threats to Cloud Computing* (2017). Cloud Security Alliance.
  28. Koliass, C., Kambourakis, G., Stavrou, A., Gritzalis, D. (2016). Distributed Denial of Service Attacks in Software-Defined Networking with Cloud Computing. *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, 13 (3), 373–378.
  29. Ramli, R., Maarof, M. A., Zainal, A. (2017). A survey of machine learning in DDoS attack detection. *Journal of Network and Computer Applications*, 88, 60–76.
  30. Nunes, B. A. A., Mendonca, M., Nguyen, X.-N., Obraczka, K., Turletti, T. (2014). A Survey of Software-Defined Networking: Past, Present, and Future of Programmable Networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 16 (3), 1617–1634. doi: <https://doi.org/10.1109/surv.2014.012214.00180>
  31. *National Cyber Incident Response Plan* (2010). U.S. Department of Homeland Security.
  32. Steinberger, J., Sperotto, A., Baier, H., Pras, A. (2020). Distributed DDoS Defense: A collaborative Approach at Internet Scale. *NOMS 2020 - 2020 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium*. doi: <https://doi.org/10.1109/noms47738.2020.9110300>

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.289044**

**COMPARISON EVALUATION OF UNET-BASED MODELS WITH NOISE AUGMENTATION FOR BREAST CANCER SEGMENTATION ON ULTRASOUND IMAGES (p. 85–97)**

**Assel Mukasheva**

Kazakh-British Technical University, Almaty,  
Republic of Kazakhstan

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9890-4910>

**Dina Koishiyeva**

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications,  
Almaty, Republic of Kazakhstan

**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0008-1204-797X>

**Zhanna Suimenbayeva**

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2347-356X>

**Sabina Rakhmetulayeva**

International Information Technology University, Almaty,  
Republic of Kazakhstan

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4678-7964>

**Aigerim Bolshibayeva**

International Information Technology University, Almaty,  
Republic of Kazakhstan

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1191-4249>

**Sadikova Gulnar**

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications,  
Almaty, Republic of Kazakhstan

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4184-8687>

This paper investigates the application of convolutional neural networks (CNNs), particularly the UNet model architecture, to improve the accuracy of breast cancer tumor segmentation in ultrasound images. Accurate identification of breast cancer is essential for effective patient treatment. However, ultrasound images, often contain noise and artifacts, which can complicate the task of tumor segmentation. Therefore, to highlight the most robust architecture, modifications were made to the original set, including the addition of noise and fuzziness. In this study, a comparative study of five different variants of UNet models (UNet, Attention UNet, UNet++, Dense Inception UNet and Residual UNet) was conducted on a diverse set of ultrasound images with different breast tumors. Using consistent training methods and techniques of augmentation and adding noise to the data, an improvement in segmentation accuracy was highlighted when using the Dense Inception UNet architecture. The results have potential practical applications in the field of medical diagnosis and can assist medical professionals in automatic tumor segmentation in breast cancer ultrasound images. This study highlights the improvement of segmentation accuracy by introducing dense induction into the UNet architecture. Importantly, the Dice coefficient, a key segmentation metric, improved markedly, increasing from 0.973 to 0.976 after data augmentation. The results of the study offer promise to the medical community by offering a more accurate and reliable approach to segmenting breast cancer lesions on ultrasound images. The findings can be implemented in clinical practice to assist radiologists in early cancer diagnosis.

**Keywords:** breast cancer, ultrasound imaging, deep learning, UNet, image segmentation, augmentation.

**References**

- World Health Organization. Available at: <https://www.who.int/>
- Dunenova, G. A., Kalmataeva, Z. A., Kaidarova, D. R., Shatkovskaya, O. V., Zhylkaidarova, A. Z., Marchenko, E. A., Glushkova, N. E. (2023). Breast cancer epidemiology in Kazakhstan for the period 2012-2021. *Science & Healthcare*, 25 (2). doi: <https://doi.org/10.34689/SH.2023.25.2.018>
- Igissinov, N., Toguzbayeva, A., Turdaliev, B., Igissinova, G., Bilyalova, Z., Akpolatova, G. et al. (2020). Breast Cancer in Megapolises of Kazakhstan: Epidemiological Assessment of Incidence and Mortality. *Iranian Journal of Public Health*. doi: <https://doi.org/10.18502/ijph.v48i7.2948>
- Barba, D., León-Sosa, A., Lugo, P., Suquillo, D., Torres, F., Surre, F. et al. (2021). Breast cancer, screening and diagnostic tools: All you need to know. *Critical Reviews in Oncology/Hematology*, 157, 103174. doi: <https://doi.org/10.1016/j.critrevonc.2020.103174>
- Ginsburg, O., Yip, C., Brooks, A., Cabanes, A., Caleffi, M., Dunstan Yataco, J. A. et al. (2020). Breast cancer early detection: A phased approach to implementation. *Cancer*, 126 (S10), 2379–2393. doi: <https://doi.org/10.1002/cncr.32887>
- Esteva, A., Chou, K., Yeung, S., Naik, N., Madani, A., Mottaghi, A. et al. (2021). Deep learning-enabled medical computer vision. *Npj Digital Medicine*, 4 (1). doi: <https://doi.org/10.1038/s41746-020-00376-2>
- Dahri, H., Al Maghayreh, E., Mahmood, A., Elkilani, W., Faisal Nagi, M. (2019). Automated Breast Cancer Diagnosis Based on Machine Learning Algorithms. *Journal of Healthcare Engineering*, 2019, 1–11. doi: <https://doi.org/10.1155/2019/4253641>
- MI-STA 2022 Conference Proceeding. (2022). 2022 IEEE 2nd International Maghreb Meeting of the Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (MI-STA). doi: <https://doi.org/10.1109/mi-sta54861.2022.9837515>
- Kuttan, G. O., Elayidom, M. S. (2023). Review on Computer Aided Breast Cancer Detection and Diagnosis using Machine Learning Methods on Mammogram Image. *Current Medical Imaging Formerly Current Medical Imaging Reviews*, 19 (12). doi: <https://doi.org/10.2174/1573405619666230213093639>
- Liu, Z., Wang, S., Dong, D., Wei, J., Fang, C., Zhou, X. et al. (2019). The Applications of Radiomics in Precision Diagnosis and Treatment of Oncology: Opportunities and Challenges. *Theranostics*, 9 (5), 1303–1322. doi: <https://doi.org/10.7150/thno.30309>
- Ronneberger, O., Fischer, P., Brox, T. (2015). U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015*, 234–241. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4\\_28](https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4_28)
- Zhou, Z., Rahman Siddiquee, M. M., Tajbakhsh, N., Liang, J. (2018). UNet++: A Nested U-Net Architecture for Medical Image Segmentation. *Lecture Notes in Computer Science*, 3–11. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-00889-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-00889-5_1)
- Oktay, O., Schlemper, J., Folgoc, L. L., Lee, M., Heinrich, M., Mi-sawa, K. et al. (2018). Attention u-net: Learning where to look for the pancreas. arXiv. doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1804.03999>
- Zhang, Z., Liu, Q., Wang, Y. (2018). Road Extraction by Deep Residual U-Net. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 15 (5), 749–753. doi: <https://doi.org/10.1109/lgrs.2018.2802944>
- Targ, S., Almeida, D., Lyman, K. (2016). Resnet in resnet: Generalizing residual architectures. arXiv. doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1603.08029>
- Zhang, Z., Wu, C., Coleman, S., Kerr, D. (2020). DENSE-INception U-net for medical image segmentation. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 192, 105395. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2020.105395>
- Zhao, Y., Lai, Z., Shen, L., Kong, H. (2022). Breast Lesions Segmentation using Dual-level UNet (DL-UNet). 2022 IEEE 35th International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS). doi: <https://doi.org/10.1109/cbms55023.2022.00067>
- Honghan, Z., Liu, D. C., Jingyan, L., Liu, P., Yin, H., Peng, Y. (2021). RMS-SE-UNet: A Segmentation Method for Tumors in Breast Ultrasound Images. 2021 IEEE 6th International Conference on Computer and Communication Systems (ICCCS). doi: <https://doi.org/10.1109/icccs52626.2021.9449302>
- Negi, A., Raj, A. N. J., Nersisson, R., Zhuang, Z., Murugappan, M. (2020). RDA-UNET-WGAN: An Accurate Breast Ultrasound Lesion Segmentation Using Wasserstein Generative Adversarial Net-

- works. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45 (8), 6399–6410. doi: <https://doi.org/10.1007/s13369-020-04480-z>
20. Chavan, T., Prajapati, K., JV, K. R. (2022). InvUNET: Involutated UN-ET for Breast Tumor Segmentation from Ultrasound. *Lecture Notes in Computer Science*, 283–290. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-09342-5\\_27](https://doi.org/10.1007/978-3-031-09342-5_27)
  21. Chen, G., Li, L., Dai, Y., Zhang, J., Yap, M. H. (2023). AAU-Net: An Adaptive Attention U-Net for Breast Lesions Segmentation in Ultrasound Images. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 42 (5), 1289–1300. doi: <https://doi.org/10.1109/tmi.2022.3226268>
  22. Agarap, A. F. (2018). Deep Learning using Rectified Linear Units (ReLU). arXiv. doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1803.08375>
  23. Liang, X., Wang, X., Lei, Z., Liao, S., Li, S. Z. (2017). Soft-Margin Softmax for Deep Classification. *Lecture Notes in Computer Science*, 413–421. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-70096-0\\_43](https://doi.org/10.1007/978-3-319-70096-0_43)
  24. Guerrero-Pena, F. A., Marrero Fernandez, P. D., Ing Ren, T., Yui, M., Rothenberg, E., Cunha, A. (2018). Multiclass Weighted Loss for Instance Segmentation of Cluttered Cells. 2018 25th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). doi: <https://doi.org/10.1109/icip.2018.8451187>
  25. Schlemper, J., Oktay, O., Schaap, M., Heinrich, M., Kainz, B., Glocker, B., Rueckert, D. (2019). Attention gated networks: Learning to leverage salient regions in medical images. *Medical Image Analysis*, 53, 197–207. doi: <https://doi.org/10.1016/j.media.2019.01.012>
  26. Khanna, A., Londhe, N. D., Gupta, S., Semwal, A. (2020). A deep Residual U-Net convolutional neural network for automated lung segmentation in computed tomography images. *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 40 (3), 1314–1327. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bbe.2020.07.007>
  27. He, K., Zhang, X., Ren, S., Sun, J. (2016). Deep Residual Learning for Image Recognition. 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). doi: <https://doi.org/10.1109/cvpr.2016.90>
  28. Chicco, D., Jurman, G. (2020). The advantages of the Matthews correlation coefficient (MCC) over F1 score and accuracy in binary classification evaluation. *BMC Genomics*, 21 (1). doi: <https://doi.org/10.1186/s12864-019-6413-7>
  29. Shamir, R. R., Duchin, Y., Kim, J., Sapiro, G., Harel, N. (2018). Continuous Dice Coefficient: a Method for Evaluating Probabilistic Segmentations. doi: <https://doi.org/10.1101/306977>
  30. Derczynski, L. (2016). Complementarity, F-score, and NLP Evaluation. *Proceedings of the Tenth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC'16)*. Portorož, 261–266. Available at: <https://aclanthology.org/L16-1040/>
  31. Eelbode, T., Bertels, J., Berman, M., Vandermeulen, D., Maes, E., Bisschops, R., Blaschko, M. B. (2020). Optimization for Medical Image Segmentation: Theory and Practice When Evaluating With Dice Score or Jaccard Index. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 39 (11), 3679–3690. doi: <https://doi.org/10.1109/tmi.2020.3002417>
  32. Cheng, B., Girshick, R., Dollar, P., Berg, A. C., Kirillov, A. (2021). Boundary IoU: Improving Object-Centric Image Segmentation Evaluation. 2021 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). doi: <https://doi.org/10.1109/cvpr46437.2021.01508>
  33. Al-Dhabyani, W., Gomaa, M., Khaled, H., Fahmy, A. (2020). Dataset of breast ultrasound images. *Data in Brief*, 28, 104863. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104863>
  34. Al-Dhabyani, W., Gomaa, M., Khaled, H., Fahmy, A. (2019). Deep Learning Approaches for Data Augmentation and Classification of Breast Masses using Ultrasound Images. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 10 (5). doi: <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2019.0100579>
  35. Akkus, Z., Cai, J., Boonrod, A., Zeinoddini, A., Weston, A. D., Philbrick, K. A., Erickson, B. J. (2019). A Survey of Deep-Learning Applications in Ultrasound: Artificial Intelligence-Powered Ultrasound for Improving Clinical Workflow. *Journal of the American College of Radiology*, 16 (9), 1318–1328. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2019.06.004>
  36. Ilesanmi, A. E., Chaumrattanakul, U., Makhanov, S. S. (2021). A method for segmentation of tumors in breast ultrasound images using the variant enhanced deep learning. *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 41 (2), 802–818. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bbe.2021.05.007>
  37. Almajalid, R., Shan, J., Du, Y., Zhang, M. (2018). Development of a Deep-Learning-Based Method for Breast Ultrasound Image Segmentation. 2018 17th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA). doi: <https://doi.org/10.1109/icmla.2018.00179>
  38. Zhang, C., Bao, N., Sun, H., Li, H., Li, J., Qian, W., Zhou, S. (2022). A Deep Learning Image Data Augmentation Method for Single Tumor Segmentation. *Frontiers in Oncology*, 12. doi: <https://doi.org/10.3389/fonc.2022.782988>
  39. Ferreira, M. R., Torres, H. R., Oliveira, B., Gomes-Fonseca, J., Morais, P., Novais, P., Vilaca, J. L. (2022). Comparative Analysis of Current Deep Learning Networks for Breast Lesion Segmentation in Ultrasound Images. 2022 44th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC). doi: <https://doi.org/10.1109/embc48229.2022.9871091>
  40. Mukasheva, A., Akanov, Z., Yedilkhan, D. (2021). Research of the Regression Analysis Methods for Predicting the Growth of Patients with Diabetes Mellitus. 2021 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST). doi: <https://doi.org/10.1109/sist50301.2021.9465975>
  41. Zhao, T., Dai, H. (2022). Breast Tumor Ultrasound Image Segmentation Method Based on Improved Residual U-Net Network. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, 1–9. doi: <https://doi.org/10.1155/2022/3905998>

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.289007**

**SIMD IMPLEMENTATION OF DEEP CNNs FOR MYOPIA DETECTION ON A SINGLE-BOARD COMPUTER SYSTEM (p. 98–108)**

**Mamoon A Al Jbaar**

Ninevah University, Cornish, Mosul, Iraq

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9734-3397>

**Shefa A. Dawwd**

University of Mosul, Mosul, Iraq

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8878-7941>

Deep learning algorithms, especially Convolution Neural Networks (CNN), have been rapidly developed due to their flexibility and scalability to be adopted in several fields for modeling real-world applications like object detection, image classification, etc. However, their high accuracy incurs intensive computations. Therefore, it is crucial to carefully choose a suitable computer platform and

implementation methodology for CNN network architectures while achieving increased efficiency. Parallel architectures are prevalent in CNN implementation. Herein, we present a new Single Instruction Multi Data (SIMD) parallel implementation of the proposed CNN to speed up the execution process and make it suitable to deploy on low-cost, low-power consumption platforms. The proposed implementation produces an improved model of deep CNN executable on a cost-efficient platform and portability to work autonomously with multi-core processing units while maintaining working accuracy. Raspberry Pi 3 B is a low-power target device for implementing our model. The proposed approach is characterized by high diagnostic accuracy of up to 96.35 % while incurring power consumption of 3.65 Watts, achieving power reduction between 19.17 % and 68.45 % compared to the prior work. Meanwhile, it has a fine inference time for the selected platform. The outstanding results of this study reflect the success of employing parallel architectures to utilize the quad courses of the ARM processor on the target platform. The presented model can be an efficient medical assistant to provide automated detection and diagnosis for myopia ocular disease. Thus, it can be a promising healthcare toolkit that reduces the effort of the medical staff and increases the quality of the provided medical services for myopia patients.

**Keywords:** CNN, multi-core, cost-effective, platform, prediction, myopia, ocular, ODIR, AIoT, SIMD.

## References

- Suzen, A. A., Duman, B., Sen, B. (2020). Benchmark Analysis of Jetson TX2, Jetson Nano and Raspberry PI using Deep-CNN. 2020 International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA). doi: <https://doi.org/10.1109/hora49412.2020.9152915>
- Choi, K., Sobelman, G. E. (2022). An Efficient CNN Accelerator for Low-Cost Edge Systems. *ACM Transactions on Embedded Computing Systems*, 21 (4), 1–20. doi: <https://doi.org/10.1145/3539224>
- Fernández-Cerero, D., Fernández-Rodríguez, J. Y., Álvarez-García, J. A., Soria-Morillo, L. M., Fernández-Montes, A. (2019). Single-Board-Computer Clusters for Cloudlet Computing in Internet of Things. *Sensors*, 19 (13), 3026. doi: <https://doi.org/10.3390/s19133026>
- Saranya, V., Carmel Mary Belinda, M. J., Kanagachidambaresan, G. R. (2020). An Evolution of Innovations Protocols and Recent Technology in Industrial IoT. *Internet of Things for Industry 4.0*, 161–175. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-32530-5\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-32530-5_11)
- Srinivasan, V., Meudt, S., Schwenker, F. (2019). Deep Learning Algorithms for Emotion Recognition on Low Power Single Board Computers. *Multimodal Pattern Recognition of Social Signals in Human-Computer-Interaction*, 59–70. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-20984-1\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-20984-1_6)
- Dubovečak, M., Dumić, E., Bernik, A. (2023). Face Detection and Recognition Using Raspberry PI Computer. *Tehnički Glasnik*, 17 (3), 346–352. doi: <https://doi.org/10.31803/tg-20220321232047>
- Zamir, M., Ali, N., Naseem, A., Ahmed Frasteen, A., Zafar, B., Assam, M., Othman, M., Attia, E.-A. (2022). Face Detection & Recognition from Images & Videos Based on CNN & Raspberry Pi. *Computation*, 10 (9), 148. doi: <https://doi.org/10.3390/computation10090148>
- Huang, Z., Yang, S., Zhou, M., Gong, Z., Abusorrah, A., Lin, C., Huang, Z. (2021). Making accurate object detection at the edge: review and new approach. *Artificial Intelligence Review*, 55 (3), 2245–2274. doi: <https://doi.org/10.1007/s10462-021-10059-3>
- Sonkar, S., Kumar, P., George, R. C., Yuvaraj, T. P., Philip, D., Ghosh, A. K. (2022). Real-Time Object Detection and Recognition Using Fixed-Wing LALE VTOL UAV. *IEEE Sensors Journal*, 22 (21), 20738–20747. doi: <https://doi.org/10.1109/jsen.2022.3206345>
- Didi, Z., El Azami, I., Boumait, E. M. (2022). Design of a Security System Based on Raspberry Pi with Motion Detection. *Digital Technologies and Applications*, 427–434. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-02447-4\\_44](https://doi.org/10.1007/978-3-031-02447-4_44)
- Hammad, M., Abd El-Latif, A. A., Hussain, A., Abd El-Samie, F. E., Gupta, B. B., Ugail, H., Sedik, A. (2022). Deep Learning Models for Arrhythmia Detection in IoT Healthcare Applications. *Computers and Electrical Engineering*, 100, 108011. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2022.108011>
- Dhar, T., Dey, N., Borra, S., Sherratt, R. S. (2023). Challenges of Deep Learning in Medical Image Analysis—Improving Explainability and Trust. *IEEE Transactions on Technology and Society*, 4 (1), 68–75. doi: <https://doi.org/10.1109/tts.2023.3234203>
- Vayadande, K., Ingale, V., Verma, V., Yeole, A., Zawar, S., Jamadar, Z. (2022). Ocular Disease Recognition using Deep Learning. 2022 International Conference on Signal and Information Processing (ICONSIP). doi: <https://doi.org/10.1109/iconsip49665.2022.10007470>
- Albahli, S., Ahmad Hassan Yar, G. N. (2022). Automated detection of diabetic retinopathy using custom convolutional neural network. *Journal of X-Ray Science and Technology*, 30 (2), 275–291. doi: <https://doi.org/10.3233/xst-211073>
- Ebri, A. E., Govender, P., Naidoo, K. S. (2019). Prevalence of vision impairment and refractive error in school learners in Calabar, Nigeria. *African Vision and Eye Health*, 78 (1). doi: <https://doi.org/10.4102/aveh.v78i1.487>
- Pakbin, M., Katibeh, M., Pakravan, M., Yaseri, M., Soleimanizad, R. (2015). Prevalence and causes of visual impairment and blindness in central Iran; The Yazd eye study. *Journal of Ophthalmic and Vision Research*, 10 (3), 279. doi: <https://doi.org/10.4103/2008-322x.170362>
- Gibertoni, G., Borghi, G., Rovati, L. (2022). Vision-Based Eye Image Classification for Ophthalmic Measurement Systems. *Sensors*, 23 (1), 386. doi: <https://doi.org/10.3390/s23010386>
- da Rocha, D. A., Ferreira, F. M. F., Peixoto, Z. M. A. (2022). Diabetic retinopathy classification using VGG16 neural network. *Research on Biomedical Engineering*, 38 (2), 761–772. doi: <https://doi.org/10.1007/s42600-022-00200-8>
- Pan, Y., Liu, J., Cai, Y., Yang, X., Zhang, Z., Long, H. et al. (2023). Fundus image classification using Inception V3 and ResNet-50 for the early diagnostics of fundus diseases. *Frontiers in Physiology*, 14. doi: <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1126780>
- Menghani, G. (2023). Efficient Deep Learning: A Survey on Making Deep Learning Models Smaller, Faster, and Better. *ACM Computing Surveys*, 55 (12), 1–37. doi: <https://doi.org/10.1145/3578938>
- Islam, S., Deng, J., Zhou, S., Pan, C., Ding, C., Xie, M. (2022). Enabling Fast Deep Learning on Tiny Energy-Harvesting IoT Devices. 2022 Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE). doi: <https://doi.org/10.23919/date54114.2022.9774756>
- Dai, S., Chen, L., Lei, T., Zhou, C., Wen, Y. (2020). Automatic Detection Of Pathological Myopia And High Myopia On Fundus Images. 2020 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME). doi: <https://doi.org/10.1109/icme46284.2020.9102787>

23. Gour, N., Khanna, P. (2021). Multi-class multi-label ophthalmological disease detection using transfer learning based convolutional neural network. *Biomedical Signal Processing and Control*, 66, 102329. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2020.102329>
24. Topaloglu, I. (2022). Deep Learning Based Convolutional Neural Network Structured New Image Classification Approach for Eye Disease Identification. *Scientia Iranica*, 30 (5), 1731–1742. doi: <https://doi.org/10.24200/sci.2022.58049.5537>
25. Rakhmetulayeva, S., Syrymbet, Z. (2022). Implementation of convolutional neural network for predicting glaucoma from fundus images. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (2 (120)), 70–77. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.269229>
26. David, S. A., Mahesh, C., Kumar, V. D., Polat, K., Alhudaif, A., Nour, M. (2022). Retinal Blood Vessels and Optic Disc Segmentation Using U-Net. *Mathematical Problems in Engineering*, 2022, 1–11. doi: <https://doi.org/10.1155/2022/8030954>
27. Wang, K., Xu, C., Li, G., Zhang, Y., Zheng, Y., Sun, C. (2023). Combining convolutional neural networks and self-attention for fundus diseases identification. *Scientific Reports*, 13 (1). doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-27358-6>
28. Maqsood, Z., Gupta, M. K. (2022). Automatic Detection of Diabetic Retinopathy on the Edge. *Cyber Security, Privacy and Networking*, 129–139. doi: [https://doi.org/10.1007/978-981-16-8664-1\\_12](https://doi.org/10.1007/978-981-16-8664-1_12)
29. Karamihan, K. C., Agustino, I. D. F., Bionesta, R. B. B., Tuason, F. C., Arellano, S. V. E., Esguerra, P. A. M. (2019). SBC-Based Cataract Detection System using Deep Convolutional Neural Network with Transfer Learning Algorithm. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, 9(2), 4605–4613. doi: <https://doi.org/10.35940/ijrte.b3368.078219>
30. Civit-Masot, J., Luna-Perejón, F., Corral, J. M. R., Domínguez-Morales, M., Morgado-Estévez, A., Civit, A. (2021). A study on the use of Edge TPUs for eye fundus image segmentation. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 104, 104384. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2021.104384>
31. Lee, S.-J., Park, S.-S., Chung, K.-S. (2018). Efficient SIMD implementation for accelerating convolutional neural network. *Proceedings of the 4th International Conference on Communication and Information Processing*. doi: <https://doi.org/10.1145/3290420.3290444>
32. Raspberry Pi 3 Model B. Available at: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-3-model-b/>
33. Raspberry Pi Power Consumption Guide. Available at: <https://www.ecoenergygeek.com/raspberry-pi-power-consumption/>
34. Wang, J., Yang, L., Huo, Z., He, W., Luo, J. (2020). Multi-Label Classification of Fundus Images With EfficientNet. *IEEE Access*, 8, 212499–212508. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2020.3040275>
35. He, J., Li, C., Ye, J., Qiao, Y., Gu, L. (2021). Multi-label ocular disease classification with a dense correlation deep neural network. *Biomedical Signal Processing and Control*, 63, 102167. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2020.102167>
36. Bhati, A., Gour, N., Khanna, P., Ojha, A. (2023). Discriminative kernel convolution network for multi-label ophthalmic disease detection on imbalanced fundus image dataset. *Computers in Biology and Medicine*, 153, 106519. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2022.106519>
37. Jeny, A. A., Junayed, M. S., Islam, M. B. (2023). Deep Neural Network-Based Ensemble Model for Eye Diseases Detection and Classification. *Image Analysis & Stereology*, 42 (2), 77–91. doi: <https://doi.org/10.5566/ias.2857>
38. Kristiani, E., Yang, C.-T., Huang, C.-Y. (2020). iSEC: An Optimized Deep Learning Model for Image Classification on Edge Computing. *IEEE Access*, 8, 27267–27276. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2020.2971566>
39. Goel, A., Aghajanzadeh, S., Tung, C., Chen, S.-H., Thiruvathukal, G. K., Lu, Y.-H. (2020). Modular Neural Networks for Low-Power Image Classification on Embedded Devices. *ACM Transactions on Design Automation of Electronic Systems*, 26 (1), 1–35. doi: <https://doi.org/10.1145/3408062>
40. Dong, Z., Li, N., Iosifidis, A., Zhang, Q. (2022). Design and Prototyping Distributed CNN Inference Acceleration in Edge Computing. *arXiv*. doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2211.13778>
41. James, N., Ong, L.-Y., Leow, M.-C. (2022). Exploring Distributed Deep Learning Inference Using Raspberry Pi Spark Cluster. *Future Internet*, 14 (8), 220. doi: <https://doi.org/10.3390/fi14080220>



■ - - - - - ■  
АНОТАЦІЇ  
INFORMATION AND CONTROLLING SYSTEM

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.289623****ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ПОВІТРЯНОГО ОБ'ЄКТУ В ДВОПОЗИЦІЙНІЙ МЕРЕЖІ МАЛОГАБАРИТНИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СТАНЦІЙ (с. 6–13)****Г. В. Худов, А. О. Бережний, О. О. Олексенко, В. Г. Малога, І. В. Балик, М. І. Герда, А. І. Собора, Є. О. Брідня, В. П. Чепурний, В. В. Грідіна**

Об'єктом дослідження є процес визначення координат повітряних об'єктів малогабаритною радіолокаційною станцією. Основна гіпотеза дослідження полягає в тому, що об'єднання двох малогабаритних радіолокаційних станцій у мережу дозволить підвищити точність визначення координат повітряних об'єктів.

Встановлено, що при визначенні координат повітряного об'єкту малогабаритною радіолокаційною станцією точність визначення дальності значно краще, ніж точність визначення кутової координати. Для нівелювання цього недоліку розглянуто двопозиційна мережа малогабаритних радіолокаційних станцій та їх еліпси похибок. Запропоновано в кожній малогабаритній радіолокаційній станції двопозиційної мережі використовувати далекомірний метод.

Удосконалено метод визначення координат повітряних об'єктів в двопозиційній мережі малогабаритних радіолокаційних станцій, в якому, на відміну від відомих:

- забезпечується синхронний огляд повітряного простору малогабаритними радіолокаційними станціями;
- проводиться вимірювання дальності до повітряного об'єкту двома малогабаритними радіолокаційними станціями;
- координати повітряного об'єкту визначаються шляхом сумісної обробки радіолокаційної інформації від двох малогабаритних радіолокаційних станцій.

Проведено оцінювання точності визначення координат повітряних об'єктів в двопозиційній мережі малогабаритних радіолокаційних станцій. Експериментальне оцінювання проведено шляхом моделювання методом статистичних випробувань Монте-Карло. Розраховані робочі зони двопозиційної мережі малогабаритних радіолокаційних станцій. Встановлено, що двопозиційна мережа малогабаритних радіолокаційних станцій працює лише в області, що утворена перетинами зон огляду малогабаритних радіолокаційних станцій при їх автономній роботі.

**Ключові слова:** малогабаритна радіолокаційна станція, точність визначення координат, двопозиційна мережа, еліпс похибок.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.288397****ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ЦИФРОВОГО СПЕКТРАЛЬНОГО МЕТОДУ КОРЕЛЯЦІЙНО-ІНТЕРФЕРОМЕТРИЧНОГО ПЕЛЕНГУВАННЯ З РЕКОНСТРУКЦІЄЮ ПРОСТОРОВОГО АНАЛІТИЧНОГО СИГНАЛУ ПРИ ОБРОБЦІ НЕПОВНОГО СПЕКТРА СИГНАЛУ (с. 14–25)****Nurzhigit Smailov, Vitaliy Tsyporenko, Akezhhan Sabibolda, Valentyn Tsyporenko, Assem Kabdoldina, Maigul Zhekambayeva, Ainur Kutybayeva, Aldabergen Bektilevov, Abdurazak Kassimov, Askar Abdykadyrov**

Удосконалено метод кореляційно-інтерферометричного пеленгування, який ефективно вирішує завдання радіопеленгування джерел радіовипромінювання для умов впливу однієї або двох маскуючих перешкод. Завдання вирішено з використанням селекції незамаскованого фрагмента просторового спектру сигналу та реконструювання відсутніх відліків його сигнальної групи. В результаті синтезу запропонованого методу отримано оцінки відліків сигналу як точні рішення запропонованих рівнянь енергетичного балансу. Отримані рішення забезпечують суттєве збільшення відношення сигнал/перешкода та точності пеленгування без збільшення кількості каналів прийому решітки антени. В результаті моделювання отримано залежність середнього квадратичного відхилення оцінки пеленгу від відношення сигнал/шум за наявності перешкод. При дії однієї або двох маскуючих перешкод та відношенні сигнал/перешкода 0 дБ застосування відомого методу пеленгування без селекції перешкод формує аномально велику похибку пеленгування більше 0,42 градуси, яка практично не залежить від відношення сигнал/шум. Метод пеленгування з селекцією замаскованих перешкод спектральних відліків сигналу зменшує похибку пеленгування до 0,22 градуса при дії однієї перешкоди та до 0,3 градуса при дії двох перешкод. Це пов'язано з наявністю втрат потужності корисного сигналу при селекції його замаскованих перешкодами відліків. Запропонований метод пеленгування з реконструюванням сигнальних відліків забезпечує суттєвий вииграш за точністю у 3–30 разів у порівнянні з методом селекції замаскованих відліків у діапазоні зміни відношення сигнал/перешкода (-20;5) дБ. Похибка пеленгування запропонованого методу зі збільшенням сигнал/перешкода зменшується за гіперболічною залежністю. Запропонований метод пеленгування доцільно використовувати при маскуванні не більше двох відліків сигнальної групи.

**Ключові слова:** дисперсія похибки, точність пеленгування, відновлення спектра сигналу, реконструювання аналітичного сигналу.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.289472****ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ МЕТОДУ ВИЯВЛЕННЯ СИГНАЛУ ЗА ДОПОМОГОЮ ФІЛЬТРУ КАЛМАНА (с. 26–34)****Bekbolat Medetov, Aigul Kulakayeva, Ainur Zhetpisbayeva, Nurtai Albanbay, Tair Kabduali**

Нині більш ефективним є використання малих космічних апаратів LEO як пунктів радіоконтролю для визначення відповідності параметрів випромінювання радіоелектронних засобів відповідним нормам та умовам дозволів на використання радіочастотного спектру. Такі системи супутникового радіомоніторингу дозволяють визначати параметри сигналів і розташування радіоелектронних засобів на великій території з різноманітним рельєфом, що підвищить ефективність систем радіомоніторингу. При виконанні таких завдань одним з найважливіших параметрів є виявлення і виділення корисного сигналу на фоні шумів і перешкод. Для таких цілей ефективно використовувати фільтри Калмана. Було встановлено, що фільтр Калмана може з дуже високою точністю виявляти та ізолювати корисні сигнали на фоні шумів і перешкод. Однак при вирішенні таких завдань виникають проблеми, пов'язані зі стійкістю методу до вибору початкового стану фільтра і неминучим спотворенням частоти корисного сигналу через наявність ефекту Доплера. У ході цього дослідження було виявлено, що коефіцієнт подібності залежить від рівня шуму, але фактично не залежить від частотних спотворень.

Також встановлено, що при коефіцієнті SNR більше 0 дБ радіосигнал на вході бортового вимірювального приймача буде прийматися з достовірністю більше 90 %. Отже, можна зробити висновок, що метод виявлення сигналу супутникового радіомоніторингу на основі використання фільтра Калмана є стійким до можливих частотних спотворень корисного сигналу за рахунок ефекту Доплера і не впливає на правильність і швидкість прийняття рішень.

**Ключові слова:** фільтр Калмана, геолокація, доплерівські вимірювання, супутник на навколосезній орбіті, радіомоніторинг.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.286528****ПРОЄКТУВАННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МЕРЕЖЕВИМ ТРАФІКОМ У РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ ЗА ВИКОРИСТАННЯМ ПРОТОКОЛУ SNMP (с. 35–44)****Ahmed Hazim Alhilali, Ali Al Farawn, Ahmed Yaseen Mjhoool**

Дослідження зосереджено на розробці та впровадженні системи керування вхідним трафіком сервера за допомогою простого протоколу керування мережею (SNMP). Суть методу полягає в тому, щоб забезпечити систему моніторингу в реальному часі, яка дає змогу менеджерам мережі ефективно контролювати всю мережеву діяльність. Ключова відмінність розробленої системи полягає у використанні протоколу SNMP для моніторингу та керування мережею без необхідності стороннього інструменту. Запропонований підхід вирішує загальні мережеві проблеми адміністраторів, включаючи неефективне використання пропускну здатності та складний моніторинг мережевих ресурсів. Після впровадження система збирала важливу інформацію про мережеве обладнання з інформаційної бази керування. Результати дослідження вказують на те, що система керування мережею на основі SNMP не дозволяє мережевим пристроям досягати обмежень пропускну здатності. Система помітно знижує використання процесора з 28 % до 8 % і зменшує використання пропускну здатності з 1,7 МБ/с до 260 байт/с. Крім того, можливість попередження системи підвищує стійкість мережі до аномалій вхідного трафіку, які інакше можуть перервати роботу сервера. Приклад використання запропонованої системи для управління вхідним серверним трафіком в невеликих мережах. Він має кілька практичних застосувань в управлінні та підтримці мережевої інфраструктури в різних сферах. Крім того, він дає змогу здійснювати моніторинг мережевих пристроїв у реальному часі, керувати ресурсами, виявляти помилки та оптимізувати продуктивність. Систему можна використовувати в невеликих організаціях для моніторингу продуктивності мережі, відстеження несправностей і ефективного керування мережевими ресурсами. Крім того, системи мережевого моніторингу на основі SNMP можуть знайти застосування майже в будь-якій сфері, де мережеві пристрої та інфраструктура потребують моніторингу, керування та оптимізації.

**Ключові слова:** SNMP, система моніторингу та управління в реальному часі, МІВ, керування сервером трафіку.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.287677****РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНОЇ ДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛІ МАРШРУТИЗАЦІЇ ПАКЕТІВ ДАНИХ НА ФРАГМЕНТІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ (с. 45–52)****О. Л. Туровський, А. Г. Захаржевський, А. О. Макаренко, Л. П. Дакова**

Об'єктом дослідження є процес маршрутизації пакетів даних в телекомунікаційній мережі. Встановлено, що стан та параметри каналів передачі даних і маршрутизаторів можуть чинити негативний вплив та потребують врахування в процесі моделювання маршрутизації пакетів даних в телекомунікаційній мережі.

Розроблена та запропонована модель імітаційного динамічного моделювання маршрутизації пакетів даних в телекомунікаційній мережі. Запропонована модель дозволяє встановити кількісні значення часу затримки обробки пакетів даних в ході їх маршрутизації по окремому фрагменті телекомунікаційної мережі з врахуванням стану та параметрів каналу передачі даних та маршрутизаторів.

Встановлено, що досягнення мінімального часу затримки пакетів даних в ході маршрутизації досягається вибором шляху їх передачі при умові мінімального часу передачі лініями зв'язку та можливостями маршрутизаторів що до їх накопичення та швидкості обслуговування. При цьому, зменшення часу затримки передачі пакетів відносно середнього по фрагменту мережі часу може досягати від 21 до 38 відсотків. Показано, що основним фактором, що впливає на значення часу затримки є швидкість обробки даних по обраному шляху передачі пакетів. Кількість вузлів маршрутизації в складі окремого шляху передачі даних може вплинути на час затримки тільки при умові рівності параметрів маршрутизаторів в порівнянні до інших, які включені в альтернативні маршрути.

Подана в роботі модель імітаційного динамічного моделювання маршрутизації пакетів даних, на відміну від існуючих, враховує стан та параметри каналів передачі даних та маршрутизаторів. Вона може бути використана при практичному удосконаленні існуючих та розробці нових мультисервісних телекомунікаційних мереж зв'язку.

**Ключові слова:** мультисервісна телекомунікаційна мережа, імітаційне динамічне моделювання, час затримки передачі пакетів даних.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.289467**

### **СТВОРЕННЯ БАГАТОКОНТУРНОЇ СИСТЕМИ БЕЗПЕКИ ІНФОРМАЦІЙНИХ ВЗАЄМОДІЙ У СОЦІОКІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМАХ (с. 53–74)**

**С. П. Євсєєв, О. В. Мілов, Н. В. Дженюк, М. Ю. Толкачов, Т. М. Войтко, М. П. Пригара, Н. І. Воропай, О. І. Шпак, А. Ф. Волков, О. В. Лезік**

Об'єктом дослідження є багатоконтурна система безпеки інформаційних взаємодій у соціокіберфізичних системах. Динамічний характер фізичних середовищ за своєю природою ставить під сумнів здатність соціокіберфізичних систем виконувати адекватні дії з управління керованими фізичними активами у багатьох контекстах. Однак дії з адаптації та еволюції повинні бути оцінені до їхньої реалізації в системі управління для забезпечення відмовостійкості при мінімізації ризиків. Отже, проектування соціокіберфізичних систем повинно забезпечувати не тільки надійну автономність, а й експлуатаційну відмовостійкість та безпеку. Запропонований підхід ґрунтується на комплексуванні цільових (змішаних) загроз на основі синтезу технічних кіберзагроз із методами соціальної інженерії. Такий підхід забезпечує можливість сформувати динамічну модель безпеки на основі аналізу взаємодії різних агентів у соціокіберфізичних системах, що дозволяє підвищити рівень протидії цільовим (змішаним) кіберзагрозам.

Наведені результати моделювання ґрунтуються на запропонованій класифікації загроз методів соціальної інженерії, що дозволяє кіберзловмисникам забезпечити ймовірність реалізації цільових загроз до 95–98 %. Запропонована класифікація загроз на основі методів соціальної інженерії дозволить сформувати додатковий параметр об'єктивності цільових загроз з урахуванням їхнього комплексування та синергії. При цьому представлена модель дозволить своєчасно забезпечити знання про можливість здійснення цільової атаки та своєчасно вжити превентивних заходів протидії. Такий підхід дозволить покращити комплекс заходів захисту, а також своєчасно сформувати підвищення рівня протидії персоналу компанії (організації, підприємства тощо) загрозам соціальної інженерії.

**Ключові слова:** соціокіберфізична система, модель безпеки інформаційних взаємодій, соціальна інженерія, цільові атаки.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.285275**

### **РОЗРОБКА ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ВТОРГНЕНЬ НА ОСНОВІ МЕТОДУ SURICATA З PFSense ДЛЯ ЗНАЧНОГО ЗНИЖЕННЯ DDOS-АТАК НА IPV6-МЕРЕЖІ (с. 75–84)**

**Supriyanto Praptodiyono, Teguh Firmansyah, Muhamad Haerul Anwar, Cakra Adipura Wicaksana, Anggoro Suryo Pramudyo, Ali Al-Allawee**

Розподілені атаки типу «відмова в обслуговуванні» (DDoS) є проблемою у комп'ютерних мережах. DDoS-атаки становлять серйозну загрозу для інтернет-мереж, оскільки вони викликають перевантаження і порушують оптимальне функціонування серверів. Виявлення джерела цих атак має важливе значення для ефективного захисту. Тому в даному дослідженні запропоновано гібридну стратегію, що поєднує в собі систему виявлення вторгнень (IDS) Suricata з брандмауером pfSense для боротьби з DDoS-атаками. Система IDS Suricata здатна визначити місце призначення атаки, що дозволяє брандмауєру pfSense блокувати атаку, відкидаючи пакети, надіслані зловмисником. В результаті, використовуючи даний комбінований підхід, спостерігали значне поліпшення якості обслуговування (QoS). Результати даного дослідження показують збільшення пропускної здатності на 1,08 %, з 1881,97 байт до 902,44 байт, що свідчить про підвищення ефективності передачі даних. Також спостерігали збільшення середньої загальної кількості відправлених пакетів на 57,32 %, з 1382 до 3238 пакетів, що вказує на підвищення продуктивності мережі. Крім того, запропонована стратегія дозволила значно знизити значення затримки та джиттера. Значення затримки зменшилося на 88,78 %, з 90,76 мс до 10,18 мс, а значення джиттера – на 88,99 %, з 181,85 мс до 20,03 мс. Дані поліпшення свідчать про помітне скорочення затримок і варіацій часу передачі пакетів, що призводить до більш плавної роботи мережі. Ще одним важливим аспектом, який був оцінений, було завантаження ЦП. Запропонована стратегія призвела до значного зниження завантаження ЦП на 81,23 %, з 78,3 % до 14,7 %. Комбінація pfSense і Suricata виявилася успішним підходом, що забезпечує надійний захист від DDoS-атак, у тому числі з використанням IPv6. Дане дослідження може бути реалізовано в якості рішення у кампусній спеціальній мережі з обмеженою кількістю комп'ютерів.

**Ключові слова:** завантаження ЦП, DDoS-атаки, джиттер, pfSense, Suricata, DDoS, IDS, IPv6.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.289044****ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВІ UNET ІЗ ПІДСИЛЕННЯМ ШУМУ ДЛЯ СЕГМЕНТАЦІЇ РАКУ МОЛОЧНОЇ ЗАЛОЗИ НА УЛЬТРАЗВУКОВИХ ЗОБРАЖЕННЯХ (с. 85–97)****Mukasheva Assel, Koishiyeva Dina, Suimenbayeva Zhanna, Rakhmetulayeva Sabina, Bolshibayeva Aigerim, Sadikova Gulnar**

У цій статті досліджується застосування згорткових нейронних мереж (ЗНМ), зокрема архітектури моделі UNet, для підвищення точності сегментації пухлини раку молочної залози на ультразвукових зображеннях. Точна ідентифікація раку молочної залози є важливою для ефективного лікування пацієнта. Однак ультразвукові зображення часто містять шуми та артефакти, що може ускладнити завдання сегментації пухлини. Тому, щоб підкреслити найбільш надійну архітектуру, до оригінального набору було внесено зміни, зокрема додано шум і нечіткість. У цьому дослідженні було проведено порівняльне дослідження п'яти різних варіантів моделей UNet (UNet, Attention UNet, UNet++, Dense Inception UNet і Residual UNet) на різноманітних ультразвукових зображеннях різних пухлин молочної залози. Використовуючи послідовні методи навчання та прийоми розширення та додавання шуму до даних, було підкреслено покращення точності сегментації при використанні архітектури Dense Inception UNet. Результати мають потенційне практичне застосування в галузі медичної діагностики та можуть допомогти медичним працівникам у автоматичній сегментації пухлини на ультразвукових зображеннях раку молочної залози. Це дослідження підкреслює підвищення точності сегментації шляхом впровадження щільної індукції в архітектуру UNet. Важливо, що коефіцієнт Дайса, ключовий показник сегментації, помітно покращився, збільшившись із 0,973 до 0,976 після доповнення даних. Результати дослідження є перспективними для медичної спільноти, пропонуючи більш точний і надійний підхід до сегментації уражень раку молочної залози на ультразвукових зображеннях. Отримані результати можуть бути використані в клінічній практиці, щоб допомогти радіологам у ранній діагностиці раку.

**Ключові слова:** рак молочної залози, ультразвукове зображення, глибоке навчання, UNet, сегментація зображення, збільшення.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.289007****SIMD IMPLEMENTATION OF DEEP CNNs FOR MYOPIA DETECTION ON A SINGLE-BOARD COMPUTER SYSTEM (с.98–108)****Mamoon A Al Jbaar, Shefa A. Dawwd**

Алгоритми глибокого навчання, особливо згорткові нейронні мережі (CNN), набули швидкого розвитку завдяки своїй гнучкості та масштабованості для використання в декількох областях для моделювання реальних застосувань, таких як виявлення об'єктів, класифікація зображень тощо. Однак їх висока точність вимагає інтенсивних обчислень. Тому надзвичайно важливо ретельно обирати відповідну комп'ютерну платформу та методологію реалізації мережових архітектур CNN із забезпеченням підвищеної ефективності. У реалізації CNN переважають паралельні архітектури. В даному дослідженні представлено нову паралельну реалізацію Single Instruction Multi Data (SIMD) запропонованої CNN з метою прискорити процес виконання та зробити її придатною для розгортання на недорогих платформах з низьким енергоспоживанням. Запропонована реалізація дозволяє отримати вдосконалену модель глибокої CNN для реалізації на економічно ефективній платформі і забезпечує портативність для автономної роботи з багатоядерними процесорами при збереженні точності роботи. Для реалізації нашої моделі використовувався малопотужний цільовий пристрій Raspberry Pi 3 B. Запропонований підхід характеризується високою точністю діагностики до 96,35 % при енергоспоживанні 3,65 Вт, досягаючи зниження енергоспоживання на 19,17–68,45 % порівняно з попередньою роботою. У той же час, він забезпечує гарний час висновку для обраної платформи. Видатні результати даного дослідження відображають успіх застосування паралельних архітектур для використання чотирьох ядер процесора ARM на цільовій платформі. Представлена модель може бути ефективним медичним помічником для автоматизованого виявлення та діагностики короткозорості очей. Таким чином, це може стати перспективним медичним інструментарієм, що дозволяє зменшити зусилля медичного персоналу та підвищити якість наданих медичних послуг для пацієнтів з короткозорістю.

**Ключові слова:** CNN, багатоядерний, економічно ефективний, платформа, прогнозування, короткозорість, очний, ODIR, AIoT, SIMD.