

ABSTRACT AND REFERENCES  
INFORMATION AND CONTROLLING SYSTEM

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.216118**  
**ASSESSING THE DETECTION ZONES OF RADAR STATIONS WITH THE ADDITIONAL USE OF RADIATION FROM EXTERNAL SOURCES (p. 6–17)**

**Igor Ruban**

Kharkiv National University of Radio Electronics,  
Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-4738-3286>

**Hennadii Khudov**

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine

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

**Vitaliy Lishchenko**

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-8269-0089>

**Oleksandr Pukhovyj**

National Defense University of Ukraine named after  
Ivan Cherniakhovskiy,  
Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-2863-3374>

**Serhii Popov**

National Defense University of Ukraine named after  
Ivan Cherniakhovskiy,  
Kyiv, Ukraine

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

**Ruslan Kolos**

Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy,  
Lviv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1321-2147>

**Taras Kravets**

Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy,  
Lviv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-5398-7441>

**Nazar Shamrai**

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-8387-3277>

**Yuriy Solomonenko**

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine

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

**Iryna Yuzova**

Civil Aviation Institute,  
Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-0013-5808>

This paper reports the assessment of the detection zone of survey radar stations under a mode of single-place location. The detection zone under this mode significantly depends on the properties of the single-position effective surface of air objects scattering. The assessment of the detection zone of survey radar stations under a mode of the distributed location has been performed. It was established that the dimensions of the detection zone of air objects under a mode of

the distributed location depend not only on the characteristics of the transmitting and receiving positions but on the system's geometry and the information combining technique as well. It was established that the size and nature of the detection zones of air objects under a mode of distributed reception depend on the distance to the base line and the degree of suppression of the penetrating signal in the receiving position. The detection zone of survey radar stations was estimated when the modes of single-position and distributed location merge. It was established that the shape of an air object detection zone depends on the design features of a particular air object and would take a different form for different types of air objects. However, the general trend to increase the size of the detection zone and reduce the dependence of its shape on the foreshortening of an air object when the merged modes of single-position and distributed reception is inherent in all types of air objects. The quality of using the merging of single-position and distributed reception modes at the predefined flight altitude of an air object was assessed. It was established that the application of the non-coherent combination of the single-position and distributed processing channels would increase the size of the detection zone of stealth aircraft objects by at least 30 % compared to the size of the single-position radar detection zone.

**Keywords:** detection zone, single-position reception, distributed location, air object, radar station.

#### References

1. Armenia Azerbaijan: Reports of fresh shelling dent ceasefire hopes. Available at: <https://www.bbc.com/news/world-europe-54488386>
2. Civil War in Syria. Available at: <https://www.cfr.org/global-conflict-tracker/conflict/civil-war-syria>
3. Banasik, M. (2020). Armed Forces As The Russian Federation's Strategic Tool. *Journal on Baltic Security*, 5 (2), 29–40. doi: <https://doi.org/10.2478/jobs-2019-0008>
4. Eckel, M. (2020). Drone Wars: In Nagorno-Karabakh, The Future Of Warfare Is Now. Available at: <https://www.rferl.org/a/drone-wars-in-nagorno-karabakh-the-future-of-warfare-is-now/30885007.html>
5. Tarshyn, V., Tantsiura, A., Kozhushko, Y., Vasylyshyn, V., Mosharenkov, V., Tarshyna, Y. (2020). The Objects Detection Increasing Probability Method on Integrated Images of the Sight Surface in Difficult Observation Conditions. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8 (8), 4659–4665. doi: <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/99882020>
6. Savchenko, V., Haidur, H., Gakhov, S., Lehominova, S., Muzshanova, T., Novikova, I. (2020). Model of Control in a UAV Group for Hidden Transmitters Detection on the Basis of Local Self-Organization. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9 (4), 6167–6174. doi: <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/291942020>
7. Barabash, O. V., Dakhno, N. B., Shevchenko, H. V., Majsak, T. V. (2017). Dynamic models of decision support systems for controlling UAV by two-step variational-gradient method. 2017 IEEE 4th International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD). doi: <https://doi.org/10.1109/apuavd.2017.8308787>

8. Barton, D. K. (2005). *Radar System Analysis and Modeling*. Boston: Artech House.
9. Willis, N. J., Griffiths, H. D. (Eds.) (2007). *Advances in Bistatic Radar*. Raleigh: SciTech Publishing. doi: <https://doi.org/10.1049/sbra001e>
10. Chesanovskiy, I., Babii, Y., Levchunets, D. (2016). Application of non-stationary signals matched windowing in pulse radiolocation tasks. 2016 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET). doi: <https://doi.org/10.1109/tcset.2016.7452038>
11. Khudov, G. V. (2003). Features of optimization of two-alternative decisions by joint search and detection of objects. *Problemy Upravleniya I Informatiki (Avtomatika)*, 5, 51–59.
12. Khudov, H., Zvonko, A., Khizhnyak, I., Shulezko, V., Khlopiachyi, V., Chepurnyi, V., Yuzova, I. (2020). The Synthesis of the Optimal Decision Rule for Detecting an Object in a Joint Search and Detection of Objects by the Criterion of Maximum Likelihood. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8 (2), 520–524. doi: <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/40822020>
13. Drone/UAV Detection and Tracking. Available at: <https://www.hgh-infrared.com/Applications/Security/Drone-UAV-Detection-and-Tracking>
14. Ezuma, M., Erden, F., Kumar, C., Ozdemir, O., Guvenc, I. (2019). Micro-UAV Detection and Classification from RF Fingerprints Using Machine Learning Techniques. Available at: <https://arxiv.org/pdf/1901.07703.pdf>
15. Khudov, H., Yarosh, S., Savran, V., Zvonko, A., Shcherba, A., Arkushenko, P. (2020). The Technique of Research on the Development of Radar Methods of Small Air Objects Detection. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8 (7), 3708–3715. doi: <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/132872020>
16. Automated systems and components. Available at: <https://www.aerotechnica.ua/en/>
17. Scientific and production complex «Iskra». Available at: [https://iskra.zp.ua/index.php?option=com\\_content&view=article&id=45&Itemid=107&lang=en](https://iskra.zp.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=45&Itemid=107&lang=en)
18. Khudov, H., Zvonko, A., Kovalevskiy, S., Lishchenko, V., Zots, F. (2018). Method for the detection of small-sized air objects by observational radars. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (92)), 61–68. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126509>
19. Richards, M. A., Scheer, J. A., Holm, W. A. (Eds.) (2010). *Principles of Modern Radar: Basic principles*. SciTech Publishing. doi: <https://doi.org/10.1049/sbra021e>
20. Melvin, W. L., Scheer, J. A. (Eds.) (2012). *Principles of Modern Radar: Advanced techniques*. SciTech Publishing. doi: <https://doi.org/10.1049/sbra020e>
21. Melvin, W. L., Scheer, J. A. (Eds.) (2013). *Principles of Modern Radar: Volume 3: Radar Applications*. SciTech Publishing, 820. doi: <https://doi.org/10.1049/sbra030e>
22. Bezouwen, J., Brandfass, M. (2017). Technology Trends for Future Radar. *Microwave Journal*. Available at: <http://www.microwave-journal.com/articles/29367-technology-trends-for-future-radar>
23. Willis, N. J. (2004). *Bistatic Radar*. SciTech Publishing. doi: <https://doi.org/10.1049/sbra003e>
24. Griffiths, H. D., Baker, C. J. (2017). *An Introduction to Passive Radar*. Artech House, 234.
25. Nazari Majd, M., Radmard, M., Chitgarha, M. M., Bastani, M. H., Nayebi, M. M. (2017). Detection-Localization Tradeoff in MIMO Radars. *Radioengineering*, 26 (2), 581–587. doi: <https://doi.org/10.13164/re.2017.0581>
26. Chernyak, V. S. (2012). Mnogopozitsionnye radiolokatsionnye sistemy na osnove MIMO RLS. *Uspehi sovremennoy radioelektroniki*, 8, 29–46.
27. Garcia, N., Haimovich, A. M., Coulon, M., Lops, M. (2014). Resource Allocation in MIMO Radar With Multiple Targets for Non-Coherent Localization. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 62 (10), 2656–2666. doi: <https://doi.org/10.1109/tsp.2014.2315169>
28. Bliss, D. W. (2014). Cooperative radar and communications signaling: The estimation and information theory odd couple. 2014 IEEE Radar Conference. doi: <https://doi.org/10.1109/radar.2014.6875553>
29. Chiriath, A. R., Ragi, S., Bliss, D. W., Mittelman, H. D. Novel Radar Waveform Optimization for a Cooperative Radar-Communications System. Available at: [http://www.optimization-online.org/DB\\_FILE/2017/10/6271.pdf](http://www.optimization-online.org/DB_FILE/2017/10/6271.pdf)
30. Stutzman, W. L., Thiele, G. A. (2013). *Antenna theory and design*. John Wiley & Sons, 848.
31. Wulf-Dieter, W. (2013). Radar Techniques Using Array Antennas. *IET Radar*, 460. doi: <https://doi.org/10.1049/pbra026e>
32. Maslovskiy, A. A., Vasylets, V., Nechitaylo, S. V., Sukharevsky, O. (2019). Method of radar masking of the ground based military equipment objects. *Telecommunications and Radio Engineering*, 78 (1), 47–58. doi: <https://doi.org/10.1615/telecomradeng.v78.i1.60>
33. Khudov, H., Lykianchikov, A., Okipniak, D., Baranik, O., Ovcharenko, O., Shamra, N. (2020). The Small Air Objects Detection Method on the Basis of Combination of Single-position and Different Receipt of Signals. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8 (8), 4463–4471. doi: <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/68882020>
34. Sukharevsky, O. I. (Ed.) (2015). *Electromagnetic Wave Scattering by Aerial and Ground Radar Objects*. CRC Press, 334. doi: <https://doi.org/10.1201/9781315214511>
35. Bakulev, P. A. (2004). *Radiolokatsionnye sistemy*. Moscow: Radiotekhnika, 320.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.218720**

**DEVISING A TECHNIQUE TO EVALUATE FLUCTUATIONS IN THE MAIN PARAMETERS OF A WIRELESS CHANNEL OF THE 802.11 STANDARD (p. 18–24)**

**Dmytro Mykhalevskiy**

Vinnitsia National Technical University,  
Vinnitsia, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-5797-164X>

This paper reports the technique devised to evaluate fluctuations in the main parameters for a wireless channel of the 802.11 standard based on the confidence regression interval. Underlying such a technique is the use of mathematical ratios of the relationship among the statistical probability, variance, and fluctuation level. It should be noted that this technique could be used when technically diagnosing the 802.11x standard wireless networks at the stages of their design and operation. Applying the proposed technique for the estimation models of the main channel parameters makes it possible to derive an estimate of fluctuation intervals without the need to process large arrays of measurement results. This greatly reduces the

time of obtaining the result from diagnosing by involving monitoring algorithms.

An expression for the statistical relation between fluctuations in the main parameters of the 802.11 standard wireless channel was obtained on the basis of the proposed mathematical ratios, which makes it possible to evaluate fluctuations of the information parameter based on the fluctuations of an energy one and vice versa. This is relevant when assessing the effective speed of information transmission based on measuring the signal strength at the receiver input using monitoring algorithms.

The analysis of the reported results and their comparison with empirical studies have shown that based on the interrelation between the main channel parameters with a regression confidence interval it is possible to determine the level of fluctuations based on the confidence probability. The dependence of a fluctuation level on the variances and confidence intervals of regression models has also been established. With a probability of 0.85, the fluctuations have been obtained for direct visibility and at a minimum number of interferences while a probability of 0.97 shows the impact of a multipath wave propagation factor in the premises.

**Keywords:** wireless channel, 802.11 standard, effective speed of information transfer, signal strength, fluctuations, statistical relation.

#### Reference

- Selinis, I., Katsaros, K., Allayioti, M., Vahid, S., Tafazolli, R. (2018). The Race to 5G Era; LTE and Wi-Fi. *IEEE Access*, 6, 56598–56636. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2018.2867729>
- Šljivo, A., Kerkhove, D., Tian, L., Famaey, J., Munteanu, A., Moerman, I. et. al. (2018). Performance Evaluation of IEEE 802.11ah Networks With High-Throughput Bidirectional Traffic. *Sensors*, 18 (2), 325. doi: <https://doi.org/10.3390/s18020325>
- Ausaf, A., Khan, M. Z., Javed, M. A., Bashir, A. K. (2020). WLAN Aware Cognitive Medium Access Control Protocol for IoT Applications. *Future Internet*, 12 (1), 11. doi: <https://doi.org/10.3390/fi12010011>
- Mykhalevskiy, D. V. (2019). Investigation of Wireless Channels of 802.11 Standard in the 5ghz Frequency Band. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, 56 (1), 41–52. doi: <https://doi.org/10.2478/lpts-2019-0004>
- Rathod, K., Vatti, R., Nandre, M. (2017). Optimization of Campus Wide WLAN. *International Journal of Electrical Electronics & Computer Science Engineering*, 4 (5). Available at: <https://www.ijeecse.com/V4N5-001.pdf>
- Chapre, Y., Mohapatra, P., Jha, S., Seneviratne, A. (2013). Received signal strength indicator and its analysis in a typical WLAN system (short paper). 38th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks. doi: <https://doi.org/10.1109/lcn.2013.6761255>
- Wang, Y., Li, M., Li, M. (2017). The statistical analysis of IEEE 802.11 wireless local area network-based received signal strength indicator in indoor location sensing systems. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 13 (12), 155014771774785. doi: <https://doi.org/10.1177/1550147717747858>
- Mardeni, R., Anuar, K., Salamat, A. R., Yusop, M. G. I. (2016). Investigation of IEEE 802.11ac signal strength performance in WIFI communication system. *International Journal of Electrical, Electronics and Data Communication*, 4 (11), 27–31. Available at: [http://www.iraj.in/journal/journal\\_file/journal\\_pdf/1-312-148128517727-31.pdf](http://www.iraj.in/journal/journal_file/journal_pdf/1-312-148128517727-31.pdf)
- Dhawankar, P., Le-Minh, H., Aslam, N. (2018). Throughput and Range Performance Investigation for IEEE 802.11a, 802.11n and 802.11ac Technologies in an On-Campus Heterogeneous Network Environment. 2018 11th International Symposium on Communication Systems, Networks & Digital Signal Processing (CSNDSP). doi: <https://doi.org/10.1109/csndsp.2018.8471865>
- Rochim, A. F., Sari, R. F. (2016). Performance comparison of IEEE 802.11n and IEEE 802.11ac. 2016 International Conference on Computer, Control, Informatics and Its Applications (IC3INA). doi: <https://doi.org/10.1109/ic3ina.2016.7863023>
- Liu, J., Aoki, T., Li, Z., Pei, T., Choi, Y., Nguyen, K., Sekiya, H. (2020). Throughput Analysis of IEEE 802.11 WLANs with Inter-Network Interference. *Applied Sciences*, 10 (6), 2192. doi: <https://doi.org/10.3390/app10062192>
- Mykhalevskiy, D. (2020). Development of a method for assessing the effective information transfer rate based on an empirical model of statistical relationship between basic parameters of the Standard 802.11 wireless channel. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (107)), 26–35. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.213834>
- Kurz-Kim, J.-R., Loretan, M. (2007). A Note on the Coefficient of Determination in Models with Infinite Variance Variables. *International Finance Discussion Paper*, 2007 (895), 1–32. doi: <https://doi.org/10.17016/ifdp.2007.895>
- Sarstedt, M., Mooi, E. (2014). *Regression Analysis*. Springer Texts in Business and Economics, 193–233. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-53965-7\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-642-53965-7_7)
- Cai, T. T., Guo, Z. (2017). Confidence intervals for high-dimensional linear regression: Minimax rates and adaptivity. *The Annals of Statistics*, 45 (2), 615–646. doi: <https://doi.org/10.1214/16-aos1461>
- Van Wieringen, W. N. (2020). Lecture notes on ridge regression. arXiv. Available at: <https://arxiv.org/pdf/1509.09169>
- Mykhalevskiy, D. V. (2020). Method for estimating the effective data rate in 802.11 channels by using a monitoring algorithm. *Journal of Applied Research and Technology*, 18 (3). doi: <https://doi.org/10.22201/icat.24486736e.2020.18.3.1089>
- Mykhalevskiy, D. M., Kychak, V. M. (2019). Development of Information Models for Increasing the Evaluation Efficiency of Wireless Channel Parameters of 802.11 Standard. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, 56 (5), 22–32. doi: <https://doi.org/10.2478/lpts-2019-0028>
- Carpenter, T., Bartz, R., Granados, A. et. al. (2018). *CWAP-403 Certified Wireless Analysis Professional (Black & White): Study and Reference Guide*. Certitrek Publishing, 460.
- Perahia, E., Stacey, R. (2013). *Next Generation Wireless LANs: 802.11n and 802.11ac*. Cambridge University Press. doi: <https://doi.org/10.1017/cbo9781139061407>

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.218076

ESTIMATING THE INDIVISIBLE ERROR DETECTING CODES BASED ON AN AVERAGE PROBABILITY METHOD (p. 25–33)

Oleksiy Borysenko

Sumy State University, Sumy, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7466-9135>

Svitlana Matsenko

Sumy State University, Sumy, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7019-4424>

**Anatolii Novhorodtsev**

Sumy State University, Sumy, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-4598-5598>

**Oleksandr Kobayakov**

Sumy State University, Sumy, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-9061-0579>

**Sandis Spolitis**

Riga Technical University, Riga, Latvia

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-0571-6409>

**Bobrovs Vjaceslavs**

Riga Technical University, Riga, Latvia

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-5156-5162>

Given the need to improve the efficiency of data transfer, there are requirements to ensure their reliability and quality under interference. One way to improve data transfer efficiency is to use noise-resistant codes, which include a closed-form expression of the Fibonacci code, a parity code, and a permanent weight code. The result of applying these types of coding produces interference-resistant end-to-end processing and transmission of information, which is a promising approach to improving the efficiency of telecommunications systems in today's environment. This paper reports the estimation of the error detecting code capability of the Fibonacci code in a closed-form expression, as well as its comparative characteristic with a parity code and a permanent weight code for a binary symmetrical channel without memory. To assess an error detecting capability of the Fibonacci code in a closed-form expression, the probability of Fibonacci code combinations moving to the proper, allowable, and prohibited classes has been determined. The comparative characteristic of the indivisible error-detecting codes is based on an average probability method, for the criterion of an undetectable error probability, employing the MATLAB and Python software. The method has demonstrated the simplicity, versatility, and reliability of estimation, which is close to reality. The probability of an undetectable error in the Fibonacci code in a closed-form expression is  $V=5 \times 10^{-7}$ ; in a code with parity check,  $V=7.7 \times 10^{-15}$ ; and in a permanent weight code,  $V=1.9 \times 10^{-15}$ , at  $p_{10}=3 \times 10^{-9}$ . The use of the average probability method makes it possible to effectively use indivisible codes for detecting errors in telecommunications systems.

**Keywords:** average probability method, indivisible code, error-detecting code, undetectable error, reliability.

## References

- Lin, S., Costello, D. J. (1983). Error control coding: fundamentals and applications. Prentice-Hall, 603.
- Morelos-Zaragoza, R. H. (2006). The art of error correcting coding. John Wiley & Sons, Inc., 278. doi: <https://doi.org/10.1002/0470035706>
- MacWilliams, F., Sloane, N. (Eds.) (1977). The theory of Error-Correcting Codes. North Holland, 762. doi: [https://doi.org/10.1016/s0924-6509\(08\)x7030-8](https://doi.org/10.1016/s0924-6509(08)x7030-8)
- Tomlinson, M., Tjhai, C. J., Ambroze, M. A., Ahmed, M., Jibril, M. (2017). Error-Correction Coding and Decoding. Springer. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-51103-0>
- Arikan, E. (2009). Channel Polarization: A Method for Constructing Capacity-Achieving Codes for Symmetric Binary-Input Memoryless Channels. IEEE Transactions on Information Theory, 55 (7), 3051–3073. doi: <https://doi.org/10.1109/tit.2009.2021379>
- Schlegel, C. B., Perez, L. C. (Eds.) (2015). Trellis and Turbo Coding: Iterative and Graph-Based Error Control Coding. John Wiley & Sons, Inc, 528. doi: <https://doi.org/10.1002/9781119106319>
- Borysenko, A. A., Horiachev, O. Y., Matsenko, S. M., Kobiakov, O. M. (2018). Noise-immune codes based on permutations. 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT). doi: <https://doi.org/10.1109/dessert.2018.8409204>
- Faure, E. V. (2017). Factorial coding with error correction. Radio Electronics, Computer Science, Control, 3, 130–138. doi: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2017-3-15>
- Borysenko, O., Kalashnikov, V., Kalashnykova, N. (2016). Description and applications of binomial numeral systems. Computer Science and Cyber Security, 2 (2), 13–21.
- Grinenko, V. V. (2004). Otsenka pomohoustoychivosti binomial'nyh modifitsirovannyh kodov. Visnyk Sumskoho derzhavnoho universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky, 12 (71), 64–69.
- Borysenko, O., Matsenko, S., Spolitis, S., Bobrovs, V. (2020). Development of the Fibonacci-Octal Error Detection Code for Telecommunication Systems. 2020 24th International Conference Electronics. doi: <https://doi.org/10.1109/ieeconf49502.2020.9141620>
- Zeger, K., Vardy, A., Agrell, E. (2000). Upper bounds for constant-weight codes. IEEE Transactions on Information Theory, 46 (7), 2373–2395. doi: <https://doi.org/10.1109/18.887851>
- Wang, X.-M., Yang, Y.-X. (1994). On the undetected error probability of nonlinear binary constant weight codes. IEEE Transactions on Communications, 42 (7), 2390–2394. doi: <https://doi.org/10.1109/26.297847>
- Hoggatt, V. (1969). Fibonacci and Lucas Numbers. MA: Houghton Mifflin, 92.
- Vajda, S. (1989). Fibonacci & Lucas Numbers, and the Golden Section: Theory and Applications. Chichester: Ellis Horwood Ltd, 189.
- Vorobyov, N. (1966). The Fibonacci Numbers. DC Heath, 47.
- Stakhov, A. (2016). Fibonacci p-codes and Codes of the “Golden” p-proportions: New Informational and Arithmetical Foundations of Computer Science and Digital Metrology for Mission-Critical Applications. British Journal of Mathematics & Computer Science, 17 (1), 1–49. doi: <https://doi.org/10.9734/bjmcs/2016/25969>
- Avila, B. T., Campello de Souza, R. M. (2017). Meta-Fibonacci Codes: Efficient Universal Coding of Natural Numbers. IEEE Transactions on Information Theory, 63 (4), 2357–2375. doi: <https://doi.org/10.1109/tit.2017.2663433>
- Borysenko, O., Kulyk, I., Matsenko, S., Berezhna, O., Matsenko, A. (2016). Optimal synthesis of digital counters in the Fibonacci codes with the minimal form of representation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (4 (82)), 4–10. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.75596>
- Matsenko, S., Borysenko, O., Spolitis, S., Bobrovs, V. (2019). Noise Immunity of the Fibonacci Counter with the Fractal Decoder Device for Telecommunication Systems. Latvian Journal of Physics and Technical Sciences, 56 (5), 12–21. doi: <https://doi.org/10.2478/lpts-2019-0027>
- Borisenko, A. A., Onanchenko, E. L. (1994). Otsenka pomohoustoychivosti nerazdelimyh kodov. Visnyk Sumskoho universytetu, 2, 64–68.
- Hamming, R. W. (1950). Error Detecting and Error Correcting Codes. Bell System Technical Journal, 29 (2), 147–160. doi: <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1950.tb00463.x>
- Gorbunov, E. (1956). Sravnenie nekotoryh pomohoustoychivnyh kodov. Telekommunikatsii, 12, 42–47.

24. Gordeev, N. (1957). O vybore dliny koda dlya simpleksnogo kanala peredachi dannyh. Teoreticheskiy uchebnyk uchrezhdeniy svyazi, 72, 19–25.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.216762**

**PERFORMANCE ANALYSIS OF THE BIOINSPIRED METHOD FOR OPTIMIZING IRREGULAR CODES WITH A LOW DENSITY OF PARITY CHECKS (p. 34–41)**

**Mykola Shtompel**

Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-3132-8335>

**Sergii Prykhodko**

Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6535-8351>

**Oleksandr Shefer**

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-3415-349X>

**Vasyl Halai**

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1205-7923>

**Ruslan Zakharchenko**

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-4651-0159>

**Borys Topikha**

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-7114-7988>

This paper reports the principles of building irregular codes with a low density of parity checks. It has been determined that finding irregular finite-length codes with improved characteristics necessitates the optimization of the distributions of powers of the symbol and test vertices of the corresponding Tanner graph. The optimization problem has been stated and the application of a bioinspired approach to solving it has been substantiated. The paper considers the main stages of the bioinspired method to optimize the finite-length irregular codes with a low density of parity checks. It is shown that a given method is based on the combined application of the bioinspired procedure of bats, a special method for building Tanner graphs, and computer simulation.

The reported study aimed to evaluate the effectiveness of the proposed method for optimizing irregular codes when using the selected bioinspired procedure and the predefined model of a communication channel.

Based on the study results, it has been determined that the optimized relatively short irregular codes with a low density of parity checks possess better characteristics compared to existing codes. It is shown that the derived codes do not demonstrate the effect of an “error floor” and ensure an energy win via encoding of about 0.5 dB compared to regular codes depending on the length of the code. It has been determined that the optimization of irregular codes with a low value of the maximum power in the distribution of powers of the symbol vertices of the Tanner graph leads to a decrease in the order of an error coefficient in the region with a high signal/noise ratio.

The application of the optimized irregular codes with a low density of parity checks could improve the efficiency of next-generation wireless telecommunication systems.

**Keywords:** wireless telecommunication systems, irregular codes, optimization, bioinspired search, communication channel.

**References**

- Bae, J. H., Abotabl, A., Lin, H.-P., Song, K.-B., Lee, J. (2019). An overview of channel coding for 5G NR cellular communications. *APSIPA Transactions on Signal and Information Processing*, 8. doi: <https://doi.org/10.1017/atsip.2019.10>
- Ryan, W., Lin, S. (2009). *Channel codes: Classical and modern*. Cambridge University Press, 692. doi: <https://doi.org/10.1017/cbo9780511803253>
- Richardson, T., Urbanke, R. L. (2008). *Modern Coding Theory*. Cambridge University Press, 590. doi: <https://doi.org/10.1017/cbo9780511791338>
- Ten Brink, S., Kramer, G., Ashikhmin, A. (2004). Design of Low-Density Parity-Check Codes for Modulation and Detection. *IEEE Transactions on Communications*, 52 (4), 670–678. doi: <https://doi.org/10.1109/tcomm.2004.826370>
- Richardson, T. J., Shokrollahi, M. A., Urbanke, R. L. (2001). Design of capacity-approaching irregular low-density parity-check codes. *IEEE Transactions on Information Theory*, 47 (2), 619–637. doi: <https://doi.org/10.1109/18.910578>
- Tavakoli, H., Ahmadian, M., Peyghami, M. R. (2012). Optimal rate irregular low-density parity-check codes in binary erasure channel. *IET Communications*, 6 (13), 2000–2006. doi: <https://doi.org/10.1049/iet-com.2011.0915>
- Jayasooriya, S., Shirvanimoghaddam, M., Ong, L., Johnson, S. J. (2017). Joint optimisation technique for multi-edge type low-density parity-check codes. *IET Communications*, 11 (1), 61–68. doi: <https://doi.org/10.1049/iet-com.2016.0287>
- Smith, B., Ardakani, M., Yu, W., Kschischang, F. (2010). Design of irregular LDPC codes with optimized performance-complexity tradeoff. *IEEE Transactions on Communications*, 58 (2), 489–499. doi: <https://doi.org/10.1109/tcomm.2010.02.080193>
- Liu, S., Song, A. (2016). Optimization of LDPC Codes over the Underwater Acoustic Channel. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 12 (2), 8906985. doi: <https://doi.org/10.1155/2016/8906985>
- Zhang, Y., Li, Q., Huang, L., Dai, K., Song, J. (2018). Optimal Design of Cascade LDPC-CPM System Based on Bionic Swarm Optimization Algorithm. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 64 (3), 762–770. doi: <https://doi.org/10.1109/tbc.2018.2835769>
- Zhao, S. (2020). Computing Algorithms for LDPC Coded Internet-of-Things. *IEEE Access*, 8, 88498–88505. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2020.2992933>
- Koganei, Y., Yofune, M., Li, C., Hoshida, T., Amezawa, Y. (2016). SC-LDPC Code With Nonuniform Degree Distribution Optimized by Using Genetic Algorithm. *IEEE Communications Letters*, 20 (5), 874–877. doi: <https://doi.org/10.1109/lcomm.2016.2545652>
- Ao, J., Liang, J., Ma, C., Cao, G., Li, C., Shen, Y. (2017). Optimization of LDPC Codes for PIN-Based OOK FSO Communication Systems. *IEEE Photonics Technology Letters*, 29 (9), 727–730. doi: <https://doi.org/10.1109/lpt.2017.2682269>
- Elkelesh, A., Ebada, M., Cammerer, S., Schmalen, L., ten Brink, S. (2019). Decoder-in-the-Loop: Genetic Optimization-Based LDPC Code Design. *IEEE Access*, 7, 141161–141170. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2019.2942999>
- Shtompel, M. (2016). Optimizatsiya neregulyarnykh kodov s maloy plotnost'yu proverok na chetnost' na osnove prirodnykh vychislen-

iy. Radiotekhnika, 186, 207–210. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/rvmnts\\_2016\\_186\\_21](http://nbuv.gov.ua/UJRN/rvmnts_2016_186_21)

16. Hu, X. Y., Eleftheriou, E., Arnold, D. M. (2005). Regular and irregular progressive edge-growth Tanner graphs. *IEEE transactions on information theory*, 51 (1), 386–398. doi: <https://doi.org/10.1109/tit.2004.839541>
17. Yang, X.-S. (2010). *Nature-inspired metaheuristic algorithms*. Luviver Press, 160.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.218158**

**DEVELOPMENT OF A METHOD FOR ASSESSING CYBERNETIC SECURITY IN SPECIAL-PURPOSE INFORMATION SYSTEMS (p. 42–52)**

**Serhii Drozdov**

Air Force of Armed Forces of Ukraine,  
Vinnitsia, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-9704-4023>

**Yurii Zhuravskiy**

Zhytomyr Military Institute named after S. P. Koroliov,  
Zhytomyr, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-4234-9732>

**Olha Salnikova**

Ivan Chernyakhovsky National Defense University of Ukraine,  
Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-7190-6091>

**Ruslan Zhyvotovskiy**

Central Scientifically-Research Institute of Arming and Military  
Equipment of the Armed Forces of, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-2717-0603>

**Elena Odarushchenko**

Poltava State Agrarian Academy,  
Poltava, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-2293-2576>

**Oleksandr Shechepsov**

Institute of Naval Forces of the National University “Odessa  
Maritime Academy”,  
Odessa, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-0015-2982>

**Oleksiy Alekseenko**

Ivan Chernyakhovsky National Defense University of Ukraine,  
Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-2707-0514>

**Roman Lazuta**

Military Institute of Telecommunications and Information  
Technologies named after Heroiv Krut,  
Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-3254-9690>

**Oleksii Nalapko**

Central Scientifically-Research Institute of Arming and Military  
Equipment of the Armed Forces of Ukraine,  
Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-3515-2026>

**Olha Pikul**

National Defense University of Ukraine named after Ivan  
Cherniakhovskiy,  
Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6177-7663>

A method for assessing cybersecurity in special-purpose information systems was developed. Cybersecurity assessment was performed

using decision trees, implemented using “IF-THEN” fuzzy rules, which are considered as common building blocks of the decision tree. This approach allows processing large amounts of data. The use of the decision tree allows increasing evaluation accuracy, is easy to set up and intuitive. Improvement of the efficiency of cybersecurity assessment (error reduction) was achieved using evolving neuro-fuzzy artificial neural networks. Training of evolving neuro-fuzzy artificial neural networks was carried out by learning not only the synaptic weights of the artificial neural network, type, parameters of the membership function, but also by reducing the dimensionality of the feature space. The efficiency of information processing was also achieved through training the architecture of artificial neural networks; taking into account the type of uncertainty of information to be assessed; working with both clear and fuzzy products, and reducing the feature space. This reduces the computational complexity of decision-making and eliminates the accumulation of learning errors of artificial neural networks. The computational complexity of the method is on average 2 million calculations less compared to the known ones, and after 2 epochs, the learning error decreases. Cybersecurity analysis in general occurs due to an advanced clustering procedure that allows working with both static and dynamic data. Testing of the proposed method was carried out. The increase in the efficiency of cybersecurity assessment of about 20–25 % in terms of information processing efficiency was revealed.

**Keywords:** cybersecurity, artificial intelligence, cyber threats, intelligent systems, information systems.

## References

1. Bashkyrov, O. M., Kostyna, O. M., Shyshatskiy, A. V. (2015). Rozvytok intehrovanykh system zviazku ta peredachi danykh dlia potreb Zbroinykh Syl. *Ozbroiennia ta viyskova tekhnika*, 1, 35–39.
2. Kalantaievska, S., Pietvsov, H., Kuvshynov, O., Shyshatskiy, A., Yarosh, S., Gatsenko, S. et. al. (2018). Method of integral estimation of channel state in the multiantenna radio communication systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (95)), 60–76. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.144085>
3. Shevchenko, D. (2020). The set of indicators of the cyber security system in information and telecommunication networks of the armed forces of Ukraine. *Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence*, 38 (2), 57–62. doi: <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2020-38-2-57-62>
4. Sokolov, K., Hudyma, O., Tkachenko, V., Shyyaty, O. (2015). Main directions of creation of IT infrastructure of the Ministry of Defense of Ukraine. *Zbirnyk naukovykh prats Tsentru voienno-stratehichnykh doslidzhen Natsionalnoho universytetu oborony Ukrainy imeni Ivana Cherniakhovskoho*, 3, 26–30.
5. Kuchuk, N., Mohammed, A. S., Shyshatskiy, A., Nalapko, O. (2019). The method of improving the efficiency of routes selection in networks of connection with the possibility of self-organization. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 8 (1), 1–6. Available at: <http://www.warse.org/IJATCSE/static/pdf/file/ijatcse01812sl2019.pdf>
6. Perrine, K. A., Levin, M. W., Yahia, C. N., Duell, M., Boyles, S. D. (2019). Implications of traffic signal cybersecurity on potential deliberate traffic disruptions. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 120, 58–70. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.12.009>
7. Wang, J., Neil, M., Fenton, N. (2020). A Bayesian network approach for cybersecurity risk assessment implementing and extending the FAIR model. *Computers & Security*, 89, 101659. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cose.2019.101659>

8. Matheu-García, S. N., Hernández-Ramos, J. L., Skarmeta, A. F., Baldini, G. (2019). Risk-based automated assessment and testing for the cybersecurity certification and labelling of IoT devices. *Computer Standards & Interfaces*, 62, 64–83. doi: <https://doi.org/10.1016/j.csi.2018.08.003>
9. Henriques de Gusmão, A. P., Mendonça Silva, M., Poletto, T., Camara e Silva, L., Cabral Seixas Costa, A. P. (2018). Cybersecurity risk analysis model using fault tree analysis and fuzzy decision theory. *International Journal of Information Management*, 43, 248–260. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.08.008>
10. Shyshatskyi, A., Sova, O., Zhuravskiy, Y., Zhyvotovskiy, R., Lyashenko, A., Cherniak, O. et. al. (2020). Development of resource distribution model of automated control system of special purpose in conditions of insufficiency of information on operational development. *Technology Audit and Production Reserves*, 1 (2 (51)), 35–39. doi: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2020.198082>
11. Mohammad, A. (2020). Development of the concept of electronic government construction in the conditions of synergetic threats. *Technology Audit and Production Reserves*, 3 (2 (53)), 42–46. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.207066>
12. Bodin, L. D., Gordon, L. A., Loeb, M. P., Wang, A. (2018). Cybersecurity insurance and risk-sharing. *Journal of Accounting and Public Policy*, 37 (6), 527–544. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaccpubpol.2018.10.004>
13. Cormier, A., Ng, C. (2020). Integrating cybersecurity in hazard and risk analyses. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 64, 104044. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2020.104044>
14. Hoffmann, R., Napiórkowski, J., Protasowicki, T., Stanik, J. (2020). Risk based approach in scope of cybersecurity threats and requirements. *Procedia Manufacturing*, 44, 655–662. doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.243>
15. Promyslov, V. G., Semenkov, K. V., Shumov, A. S. (2019). A Clustering Method of Asset Cybersecurity Classification. *IFAC-PapersOnLine*, 52 (13), 928–933. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.313>
16. Zarreh, A., Saygin, C., Wan, H., Lee, Y., Bracho, A. (2018). A game theory based cybersecurity assessment model for advanced manufacturing systems. *Procedia Manufacturing*, 26, 1255–1264. doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.07.162>
17. Gerami Seresht, N., Fayek, A. R. (2020). Neuro-fuzzy system dynamics technique for modeling construction systems. *Applied Soft Computing*, 93, 106400. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106400>
18. Folorunso, O., Mustapha, O. A. (2015). A fuzzy expert system to Trust-Based Access Control in crowdsourcing environments. *Applied Computing and Informatics*, 11 (2), 116–129. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aci.2014.07.001>
19. Luy, M., Ates, V., Barisci, N., Polat, H., Cam, E. (2018). Short-Term Fuzzy Load Forecasting Model Using Genetic-Fuzzy and Ant Colony-Fuzzy Knowledge Base Optimization. *Applied Sciences*, 8 (6), 864. doi: <https://doi.org/10.3390/app8060864>
20. Salmi, K., Magrez, H., Ziyat, A. (2019). A Novel Expert Evaluation Methodology Based on Fuzzy Logic. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)*, 14 (11), 160. doi: <https://doi.org/10.3991/ijet.v14i11.10280>
21. Allaoua, B., Laoufi, A., Gasbaoui, B., Abderrahmani, A. (2009). Neuro-Fuzzy DC Motor Speed Control Using Particle Swarm Optimization. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, 15. Available at: [http://lejpt.academicdirect.org/A15/001\\_018.pdf](http://lejpt.academicdirect.org/A15/001_018.pdf)
22. Rybak, V. A., Shokr, A. (2016). Analysis and comparison of existing decision support technology. *System analysis and applied information science*, 3, 12–18.
23. Hassanzad, M., Orooji, A., Valinejadi, A., Velayati, A. (2017). A fuzzy rule-based expert system for diagnosing cystic fibrosis. *Electronic Physician*, 9 (12), 5974–5984. doi: <https://doi.org/10.19082/5974>
24. Shang, W., Gong, T., Chen, C., Hou, J., Zeng, P. (2019). Information Security Risk Assessment Method for Ship Control System Based on Fuzzy Sets and Attack Trees. *Security and Communication Networks*, 2019, 1–11. doi: <https://doi.org/10.1155/2019/3574675>
25. Safdari, R., Kadivar, M., Nazari, M., Mohammadi, M. (2017). Fuzzy Expert System to Diagnose Neonatal Peripherally Inserted Central Catheters Infection. *Health Information Management*, 13 (7), 446–452.
26. Al-Qudah, Y., Hassan, M., Hassan, N. (2019). Fuzzy Parameterized Complex Multi-Fuzzy Soft Expert Set Theory and Its Application in Decision-Making. *Symmetry*, 11 (3), 358. doi: <https://doi.org/10.3390/sym11030358>
27. Koshlan, A., Salnikova, O., Chekhovska, M., Zhyvotovskiy, R., Prokopenko, Y., Hurskiy, T. et. al. (2019). Development of an algorithm for complex processing of geospatial data in the special-purpose geoinformation system in conditions of diversity and uncertainty of data. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (101)), 35–45. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.180197>
28. Dudnyk, V., Sinenko, Y., Matsyk, M., Demchenko, Y., Zhyvotovskiy, R., Repilo, I. et. al. (2020). Development of a method for training artificial neural networks for intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (2 (105)), 37–47. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203301>
29. Pievtsov, H., Turinskiy, O., Zhyvotovskiy, R., Sova, O., Zvieriev, O., Lanetskii, B., Shyshatskyi, A. (2020). Development of an advanced method of finding solutions for neuro-fuzzy expert systems of analysis of the radioelectronic situation. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 78–89. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001353>
30. Zueiv, P., Zhyvotovskiy, R., Zvieriev, O., Hatsenko, S., Kuprii, V., Nakonechnyi, O. et. al. (2020). Development of complex methodology of processing heterogeneous data in intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (106)), 14–23. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208554>
31. Shyshatskyi, A., Zvieriev, O., Salnikova, O., Demchenko, Y., Trotsko, O., Neroznak, Y. (2020). Complex Methods of Processing Different Data in Intellectual Systems for Decision Support System. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9 (4), 5583–5590. doi: <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/206942020>
32. Sova, O., Golub, V., Shyshatskyi, A., Ostapchuk, V., Nalapko, O., Zubrytska, H. (2019). Method of Forecasting the Duration of Data Transmission Routes in Mobile Radio Networks. 2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). doi: <https://doi.org/10.1109/ukrcon.2019.8879978>
33. Mamdani, E. H., Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, 7 (1), 1–13. doi: [https://doi.org/10.1016/s0020-7373\(75\)80002-2](https://doi.org/10.1016/s0020-7373(75)80002-2)
34. Sugeno, M. (1985). *Industrial applications of fuzzy control*. Elsevier Science Inc., 269.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.218137**  
**DEVELOPMENT OF A METHOD FOR OPTIMIZING**  
**THE STRUCTURE OF STATIC NEURAL NETWORKS**  
**INTENDED FOR CATEGORIZING TECHNICAL STATE**  
**OF GAS-TURBINE ENGINES (p. 53–62)**

**Oleksandr Yakushenko**  
 National Aviation University,  
 Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1036-7960>

**Oleksandr Popov**  
 National Aviation University,  
 Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-1029-2767>

**Azer Mirzoyev**  
 National Academy of Aviation,  
 Baku, Azerbaijan

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-7979-8307>

**Oleg Chumak**  
 TOV Aviaremontne Pidpriemstvo URARP,  
 Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-7410-5871>

**Valerii Okhmakevych**  
 National Aviation University,  
 Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-4860-9080>

A process of creating a static neural network intended for diagnosing bypass gas turbine aircraft engines by a method of categorizing the technical state of the engine flow path was considered. Diagnostics depth was “to the structural assembly”. A variant of diagnosing single faults of the flow path was considered.

The following tasks were set:

- select the best neuron activation functions in the network layers;
- determine the number of layers;
- determine the optimal number of neurons in layers;
- determine the optimal size of the training set.

The problem was solved taking into account the influence of parameter measurement errors.

The method of structure optimization implies training the network of the selected configuration using a training data set. The training was periodically interrupted to analyze the results of the network operation according to the criterion characterizing the quality of classification of the engine technical state. The assessment was performed with training and control sets. The network that provides the best value of the classification quality parameter assessed by the test set was selected as the final network.

The PS-90A turbojet engine was selected as the object of diagnostics. Diagnostics was carried out on takeoff mode and during the initial climb.

Primary optimization was carried out according to the data with no measurement errors. It was shown that a two-layer network with the use of neurons having a hyperbolic tangent function in both layers is sufficient to solve the problem. The size of the first network layer was finally optimized according to the data containing measurement errors. A two-layer network with eight neurons in the first layer was obtained. The share of erroneous diagnoses measured 14.5 %.

**Keywords:** static neural network, gas turbine engine, activation function, hyperbolic tangent.

#### References

1. Sutskever, I., Martens, J., Dahl, G., Hinton, G. (2013). On the importance of initialization and momentum in deep learning. *Proceedings of the 30th International Conference on Machine Learning*, 28 (3), 1139–1147. Available at: <http://proceedings.mlr.press/v28/sutskever13.html>
2. Krutikov, V. N., Samoilenko, N. S. (2018). On the convergence rate of the subgradient method with metric variation and its applications in neural network approximation schemes. *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Matematika i Mekhanika*, 55, 22–37. doi: <https://doi.org/10.17223/19988621/55/3>
3. Brownlee, J. (2018). How to Avoid Overfitting in Deep Learning Neural Networks. Available at: <https://machinelearningmastery.com/introduction-to-regularization-to-reduce-overfitting-and-improve-generalization-error/>
4. Denil, M., Shakibi, B., Dinh, L., Ranzato, M., De Freitas, N. (2014). Predicting Parameters in Deep Learning. *arXiv.org*. Available at: <https://arxiv.org/pdf/1306.0543.pdf>
5. Han, S., Pool, J., Tran, J., Dally, W. J. (2015). Learning both Weights and Connections for Efficient Neural Networks. *arXiv.org*. Available at: <https://arxiv.org/pdf/1506.02626v3.pdf>
6. Patrick, E. A. (1972). *Fundamentals of pattern recognition*. Prentice-Hall, Inc., 504.
7. Patrik, E.; Levin, B. (Ed.) (1980). *Osnovy teorii raspoznavaniya obrazov*. Moscow: Sov. radio, 408. Available at: <http://padaread.com/?book=19276>
8. Rashid, T. (2016). Make your own neural network. *CreateSpace*, 222.
9. Medvedev, V. S., Potemkin, V. G.; Potemkin, V. G. (Ed.) (2002). *Neyronnye seti. MATLAB 6*. Moscow: DIALOG-MIFI, 496.
10. Medvedev, V. S., Potemkin, V. G. (2001). *Neyronnye seti. MATLAB 6. Pakety prikladnyh programm. Kn. 4*. Moscow: DIALOG-MIFI, 630.
11. Lo Gatto, E., Li, Y. G., Pilidis, P. (2006). Gas Turbine Off-Design Performance Adaptation Using a Genetic Algorithm. Volume 2: Aircraft Engine; Ceramics; Coal, Biomass and Alternative Fuels; Controls, Diagnostics and Instrumentation; Environmental and Regulatory Affairs. doi: <https://doi.org/10.1115/gt2006-90299>
12. Sampath, S., Ogaji, S., Singh, R., Probert, D. (2002). Engine-fault diagnostics: an optimisation procedure. *Applied Energy*, 73 (1), 47–70. doi: [https://doi.org/10.1016/s0306-2619\(02\)00051-x](https://doi.org/10.1016/s0306-2619(02)00051-x)
13. Li, Y. G. (2002). Performance-analysis-based gas turbine diagnostics: A review. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 216 (5), 363–377. doi: <https://doi.org/10.1243/095765002320877856>
14. Ntantis, E. L., Botsaris, P. N. (2015). Diagnostic Methods for an Aircraft Engine Performance. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 8 (4), 64–72. doi: <https://doi.org/10.25103/jestr.084.10>
15. Ross, T. J. (2010). *Fuzzy logic with engineering applications*. John Wiley & Sons. doi: <https://doi.org/10.1002/9781119994374>
16. Yang, M., Shen, Q. (2008). Reinforcing fuzzy rule-based diagnosis of turbomachines with case-based reasoning. *International Journal of Knowledge-Based and Intelligent Engineering Systems*, 12 (2), 173–181. doi: <https://doi.org/10.3233/kes-2008-12208>
17. Ogaji, S. O. T., Li, Y. G., Sampath, S., Singh, R. (2003). Gas Path Fault Diagnosis of a Turbofan Engine From Transient Data Using



- Artificial Neural Networks. Volume 1: Turbo Expo 2003. doi: <https://doi.org/10.1115/gt2003-38423>
18. Angeli, C., Chatzinikolaou, A. (2004). On-Line Fault Detection Techniques for Technical Systems: A Survey. *International Journal of Computer Science & Applications*, 1 (1), 12–30. Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.100.6189&rep=rep1&type=pdf>
  19. Agneli, C. (2010). Chap. 4. Diagnostic Expert Systems: From Expert's Knowledge to Real-Time Systems. Vol. 1. TMRF e-Book, *Advanced Knowledge Based Systems: Model, Applications & Research*, 1, 50–73. Available at: <http://www.tmrfindia.org/eseries/ebookv1-c4.pdf>
  20. Asgari, H., Chen, X. (2015). *Gas Turbines Modeling, Simulation, and Control*. CRC Press, 206. doi: <https://doi.org/10.1201/b18956>
  21. Osigwe, E., Li, Y.-G., Suresh, S., Jombo, G., Indarti, D. (2017). Integrated Gas Turbine System Diagnostics: Components and Sensor Faults Quantification using Artificial Neural Network. 23rd International Society of Air Breathing Engines (ISABE) Conference – ISABE 2017. Available at: [https://www.researchgate.net/profile/Emmanuel\\_Osigwe/publication/319645027\\_Integrated\\_Gas\\_Turbine\\_System\\_Diagnostics\\_Components\\_and\\_Sensor\\_Faults\\_Quantification\\_using\\_Artificial\\_Neural\\_Network/links/59e52ae90f7e9b0e1aa888f0/Integrated-Gas-Turbine-System-Diagnostics-Components-and-Sensor-Faults-Quantification-using-Artificial-Neural-Network.pdf?origin=publication\\_detail](https://www.researchgate.net/profile/Emmanuel_Osigwe/publication/319645027_Integrated_Gas_Turbine_System_Diagnostics_Components_and_Sensor_Faults_Quantification_using_Artificial_Neural_Network/links/59e52ae90f7e9b0e1aa888f0/Integrated-Gas-Turbine-System-Diagnostics-Components-and-Sensor-Faults-Quantification-using-Artificial-Neural-Network.pdf?origin=publication_detail)
  22. Loboda, I. (2010). Gas Turbine Condition Monitoring and Diagnostics. *Gas Turbines*, 119–144. doi: <https://doi.org/10.5772/10210>
  23. Loboda, I., Feldshteyn, Y., Ponomaryov, V. (2012). Neural Networks for Gas Turbine Fault Identification: Multilayer Perceptron or Radial Basis Network? *International Journal of Turbo & Jet-Engines*, 29 (1). doi: <https://doi.org/10.1515/tjj-2012-0005>
  24. Nihmakin, M. A., Zal'tsman, M. M. (1997). Konstruktsiya osnovnykh uzlov dvigatelya PS-90A. Perm', 92.
  25. Kulyk, M., Abdullayev, P., Yakushenko, O., Popov, O., Mirzoyev, A., Chumak, O., Okhmakevych, V. (2018). Development of a data acquisition method to train neural networks to diagnose gas turbine engines and gas pumping units. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (9 (96)), 55–63. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.147720>
  26. Kulyk, M., Dmitriev, S., Yakushenko, O., Popov, O. (2013). Method of formulating input parameters of neural network for diagnosing gas-turbine engines. *Aviation*, 17 (2), 52–56. doi: <https://doi.org/10.3846/16487788.2013.805868>
  27. Hagan, M. T., Menhaj, M. B. (1994). Training feedforward networks with the Marquardt algorithm. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 5 (6), 989–993. doi: <https://doi.org/10.1109/72.329697>
  28. Wilamowski, B. M., Yu, H. (2010). Improved Computation for Levenberg-Marquardt Training. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 21 (6), 930–937. doi: <https://doi.org/10.1109/tnn.2010.2045657>
  29. Wilamowski, B. M., Irwin, J. D. (Eds.) (2018). *Intelligent Systems*. CRC Press, 610. doi: <https://doi.org/10.1201/9781315218427>
  30. ANFIS. Available at: <https://ru.m.wikipedia.org/wiki/ANFIS>
  31. Popov, A. V. (2007). Issledovanie dinamicheskikh harakteristik TRDD s peremeshayushchimisya neispravnostyami protochnoy chasti na ustanovivshisya rezhimah ego raboty. *Aviatsionno-kosmicheskaya tehnika i tehnologiya*, 2 (38), 63–67.

АНОТАЦІЇ  
INFORMATION AND CONTROLLING SYSTEM**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.216118****ОЦІНКА ЗОН ВИЯВЛЕННЯ ОГЛЯДОВИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СТАНЦІЙ ПРИ ДОДАТКОВОМУ ВИКОРИСТАННІ ВИПРОМІНЮВАННЯ СТОРОННІХ ДЖЕРЕЛ (с. 6–17)****І. В. Рубан, Г. В. Худов, В. М. Ліщенко, О. В. Пуховий, С. Е. Попов, Р. Л. Колос, Т. М. Кравець, Н. М. Шамрай, Ю. С. Соломоненко, І. Ю. Юзова**

Проведена оцінка зони виявлення оглядових радіолокаційних станцій в режимі однопозиційної локації. Зона виявлення в такому режимі суттєво залежить від властивостей однопозиційної ефективної поверхні розсіяння повітряних об'єктів. Проведена оцінка зони виявлення оглядових радіолокаційних станцій в режимі рознесеної локації. Встановлено, що розміри зони виявлення повітряних об'єктів в режимі рознесеної локації залежать не тільки від характеристик передавальної та приймальної позицій, але й від геометрії системи та способу об'єднання інформації. Встановлено, що розмір та характер зон виявлення повітряних об'єктів в режимі рознесеного прийому залежить від відстані до лінії бази та ступеню придушення проникаючого сигналу в приймальній позиції. Проведена оцінка зони виявлення оглядових радіолокаційних станцій при об'єднанні режимів однопозиційної та рознесеної локації. Встановлено, що форма зони виявлення повітряних об'єктів залежить від особливостей конструкції конкретного повітряного об'єкта і буде мати різний вигляд для різних типів повітряних об'єктів. Проте загальна тенденція збільшення розмірів зони виявлення та зменшення залежності її форми від ракурсу повітряного об'єкту при об'єднанні режимів однопозиційного та рознесеного прийому буде притаманна всім типам повітряних об'єктів. Проведено оцінювання якості застосування об'єднання режимів однопозиційного та рознесеного прийому на визначеній висоті польоту повітряного об'єкту. Встановлено, що використання некогерентного об'єднання однопозиційного та рознесеного каналів обробки забезпечить збільшення розміру зони виявлення малопомітних повітряних об'єктів від 30 % у порівнянні із розмірами зони виявлення однопозиційної радіолокаційної станції.

**Ключові слова:** зона виявлення, однопозиційний прийом, рознесена локація, повітряний об'єкт, радіолокаційна станція.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.218720****РОЗРОБКА СПОСОБУ ОЦІНЮВАННЯ ФЛУКТУАЦІЙ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ БЕЗПРОВОДНОГО КАНАЛУ СТАНДАРТУ 802.11 (с. 18–24)****Д. В. Михалевський**

Розроблено спосіб оцінювання флуктуацій основних параметрів безпроводного каналу стандарту 802.11 на базі довіркового інтервалу регресії. Основою такого способу є використання математичних співвідношень взаємозв'язку статистичної імовірності, дисперсії та рівня флуктуацій. Слід відзначити, що такий спосіб може використовуватись для технічної діагностики безпроводних мереж стандартів 802.11x на етапах проектування та експлуатації мереж. Використовуючи запропонований спосіб для моделей оцінювання основних параметрів каналу, можна отримати оцінку інтервалів флуктуацій без потреби обробки великих масивів результатів вимірювання. Це значно зменшує час отримання результату діагностики використовуючи алгоритми моніторингу.

На основі запропонованих математичних співвідношень отримано вираз статистичного зв'язку між флуктуаціями основних параметрів безпроводного каналу стандарту 802.11, що дозволяє оцінювати флуктуації інформаційного параметра на основі флуктуацій енергетичного, і навпаки. Це є актуальним при оцінюванні ефективної швидкості передачі інформації на основі вимірювання потужності сигналу на вході приймача за допомогою алгоритмів моніторингу.

Аналіз отриманих результатів та порівняння із емпіричними дослідженнями показав, що на основі взаємозв'язку основних параметрів каналу із довірковим інтервалом регресії існує можливість визначення рівня флуктуацій на основі довіркової імовірності. Також встановлено залежність рівня флуктуацій від дисперсій та довіркових інтервалів моделей регресії. При імовірності 0,85 отримано флуктуації для прямої видимості та із мінімальною кількістю завад, імовірність 0,97 показує вплив фактору багатопроменевого поширення хвиль у приміщенні.

**Ключові слова:** безпроводний канал, стандарт 802.11, ефективна швидкість передачі інформації, потужність сигналу, флуктуації, статистичний зв'язок.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.218076****ОЦІНКА НЕРОЗДІЛЬНИХ КОДІВ ВИЯВЛЕННЯ ПОМИЛОК НА ОСНОВІ МЕТОДУ УСЕРЕДНЕНОЇ ЙМОВІРНІСТІ (с. 25–33)****О. А. Борисенко, С. М. Маценко, А. І. Новгородцев, О. М. Кобяков, С. Сполітис, В. В. Бобров**

У зв'язку з необхідністю збільшення ефективності передачі даних, виникають вимоги до забезпечення їх достовірності та якості в умовах перешкод. Одним з методів підвищення ефективності передачі даних є використання завадостійких кодів, одними з яких є

код Фібоначчі в мінімальній формі представлення, код з перевіркою на парність і код з постійною вагою. В результаті застосування таких типів кодування здійснюється перешкодостійка наскрізна обробка і передача інформації, що є перспективним підходом для підвищення ефективності телекомунікаційних систем в сучасних умовах. У роботі проведена оцінка здатності виявлення помилок коду Фібоначчі в мінімальній формі представлення, а також його порівняльна характеристика з кодом з перевіркою на парність і кодом з постійною вагою для двійкового симетричного каналу без пам'яті. Для оцінки здатності виявлення помилок коду Фібоначчі в мінімальній формі представлення визначаються ймовірності переходів фібоначчєвих кодових комбінацій в класи правильних, дозволених і заборонених. Порівняльна характеристика нероздільних кодів виявлення помилок проведена на основі методу усередненої ймовірності, за критерієм ймовірності невиявленої помилки, з використанням програмного забезпечення Matlab і Python. Метод володіє простотою, універсальністю і надійністю оцінки, наближеною до реальності. Ймовірність невиявленої помилки коду Фібоначчі в мінімальній формі представлення становить  $V=5 \times 10^{-7}$ , коду з перевіркою на парність  $V=7.7 \times 10^{-15}$  і коду з постійною вагою  $V=1.9 \times 10^{-15}$ , для  $p_{10}=3 \times 10^{-9}$ . Застосування методу усередненої ймовірності дає можливість ефективно використовувати нероздільні коди виявлення помилок в телекомунікаційних системах.

**Ключові слова:** метод усередненої ймовірності, нероздільний код, здатність виявлення помилок, невиявлена помилка, достовірність.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.216762**

### **АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ БІОІНСПІРОВАНОГО МЕТОДУ ОПТИМІЗАЦІЇ НЕРЕГУЛЯРНИХ КОДІВ З МАЛОЮ ЦІЛЬНІСТЮ ПЕРЕВІРОК НА ПАРНІСТЬ (с. 34–41)**

**М. А. Штомпель, С. І. Приходько, О. В. Шефер, В. М. Галай, Р. В. Захарченко, Б. В. Топіха**

Представлено принципи побудови нерегулярних кодів з малою щільністю перевірок на парність. Визначено, що для знаходження нерегулярних кодів кінцевої довжини з покращеними характеристиками необхідно здійснювати оптимізацію розподілів степенів символьних та перевірочних вершин відповідного графу Таннера. Сформульовано оптимізаційну задачу та обґрунтовано застосування біоінспірованого підходу для її вирішення. Розглянуто основні етапи біоінспірованого методу оптимізації нерегулярних кодів з малою щільністю перевірок на парність кінцевої довжини. Показано, що даний метод засновано на спільному використанні біоінспірованої процедури летучих мишей, спеціальному методі побудови графів Таннера та комп'ютерному моделюванні.

Проведені дослідження виконано для оцінки ефективності представленого методу оптимізації нерегулярних кодів при використанні обраної біоінспірованої процедури та заданої моделі каналу зв'язку.

За результатами досліджень визначено, що оптимізовані відносно короткі нерегулярні коди з малою щільністю перевірок на парність мають кращі характеристики у порівнянні з існуючими кодами. Показано, що у отриманих кодах відсутній ефект «error floor» та забезпечується енергетичний вииграш від кодування близько 0,5 дБ порівняно з регулярними кодами в залежності від довжини коду. Визначено, що оптимізація нерегулярних кодів з невеликим значенням максимальної степені у розподілі степенів символьних вершин графу Таннера призводить до зменшення на порядок коефіцієнту помилок у області високого відношення сигнал/шум.

Застосування оптимізованих нерегулярних кодів з малою щільністю перевірок на парність дозволить підвищити ефективність безпроводових телекомунікаційних систем наступного покоління.

**Ключові слова:** безпроводові телекомунікаційні системи, нерегулярні коди, оптимізація, біоінспірований пошук, канал зв'язку.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.218158**

### **РОЗРОБКА МЕТОДУ ОЦІНЮВАННЯ КІБЕРНЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ В ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ (с. 42–52)**

**С. С. Дроздов, Ю. В. Журавський, О. Ф. Сальнікова, Р. М. Животовський, О. Б. Одарущенко, О. В. Щепцов, О. В. Алексєнко, Р. Р. Лазута, О. Л. Налапко, О. І. Пікуль**

Розроблено метод оцінювання кібернетичної безпеки в інформаційних системах спеціального призначення. Оцінювання кібернетичної безпеки здійснюється з використанням дерев рішень, що реалізується з використанням нечітких правил “ЯКЩО-ТО”, які розглядаються як загальні будівельні елементи дерева рішень. Зазначений підхід дозволяє проводити обробку великих масивів даних. Використання саме дерева рішень дозволяє підвищити точність оцінювання, є простим в налаштуванні та інтуїтивно зрозумілим. Підвищення оперативності оцінювання кібернетичної безпеки (зменшення похибки) оцінювання досягається за рахунок використання нейро-нечітких штучних нейронних мереж, що еволюціонують. Навчання нейро-нечітких штучних нейронних мереж, що еволюціонують, відбувається навчанням не тільки синаптичних ваг штучної нейронної мережі, виду, параметрів функції належності, а також застосуванням процедури зменшення розмірності простору ознак. Оперативність обробки інформації також досягається за рахунок навчання архітектури штучних нейронних мереж; врахування типу невизначеності інформації, що підлягає оцінюванню; роботи як з чіткими, так і нечіткими продукціями, та зменшення простору ознак. При цьому досягається зменшення обчислюваної складності при прийнятті рішень та відсутність накопичення помилки навчання штучних нейронних мереж. Обчислювальна складність методу у порівнянні з відомими в середньому на 2 мільйони обчислень менша та після 2 епохи відбувається зменшення помилки навчання. Аналіз кібернетичної безпеки в цілому відбувається за рахунок удосконаленої процедури кластеризації, що дозволяє працювати як

з статичними, так і динамічними даними. Проведено апробацію запропонованого методу. Встановлено підвищення оперативності оцінювання кібернетичної безпеки на рівні 20–25 % по оперативності обробки інформації про рівень кібернетичної захищеності.

**Ключові слова:** кібернетична безпека, штучний інтелект, кібернетичні загрози, інтелектуальні системи, інформаційні системи.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.218137**

**РОЗРОБКА МЕТОДА ОПТИМІЗАЦІЇ СТРУКТУРИ СТАТИЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ, ПРИЗНАЧЕНИХ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА (с. 53–62)**

**О. С. Якушенко, О. В. Попов, А. Дж. Мірзоєв, О. І. Чумак, В. М. Охмакевич**

Розглянуто процес створення статичної нейронної мережі, призначеної для діагностування авіаційного двоконтурного газотурбінного двигуна методом класифікації технічного стану його проточної частини. Діагностування проводиться з глибиною «до конструктивного вузла». Розглядається варіант діагностування одиночних несправностей за параметрами робочого процесу.

Задачі: вибір найкращих функцій активації нейронів; визначення кількості шарів; визначення оптимальної кількості нейронів в шарах; визначення оптимального розміру навчального набору. Задачі вирішуються з урахуванням впливу похибок вимірювання параметрів.

Метод оптимізації структури полягає навчанні мережі обраної конфігурації з використанням навчального набору. Навчання періодично перепивається для аналізу результатів роботи мережі за критерієм, який характеризує якість класифікації технічного стану двигуна. Оцінка виконується окремо за навчальним та контрольним наборами. Як кінцева обирається мережа, що забезпечує найкраще значення параметра якості класифікації за контрольним набором.

Об'єктом діагностування обрано турбореактивний двигун ПС-90А. Діагностування виконується на злітному режимі і при початковому наборі висоти.

Первинну оптимізацію мережі проведено за даними, що не містять похибок вимірювання. Показано, що для вирішення задачі достатньо двошарової мережі з використанням в обох шарах нейронів з функцією гіперболічний тангенс. Остаточну оптимізацію розміру першого шару мережі проведено за даними, що містять похибки вимірювання. Отримана двослойна мережа має вісім нейронів у вхідному шарі. Частка хибних діагнозів складає при цьому 14,5 %.

**Ключові слова:** статична нейронна мережа, газотурбінний двигун, функція активації, гіперболічний тангенс.