

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

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.235844
GENERALIZING THE SAMPLING THEOREM
FOR A FREQUENCY-TIME DOMAIN TO SAMPLE
SIGNALS UNDER THE CONDITIONS OF A PRIORI
UNCERTAINTY (p. 6–15)

Mykola Kaliuzhnyi

Problem Research Laboratory for Radio Monitoring and Processing
 of Radio Information
 Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0964-6062>

The radio monitoring of radiation and interference with electronic means is characterized by the issue related to the structural-parametric a priori uncertainty about the type and parameters of the ensemble of signals by radio-emitting sources. Given this, it is a relevant task to devise a technique for the mathematical notation of signals in order to implement their processing, overcoming their a priori uncertainty in terms of form and parameters.

A given problem has been solved by the method of generalization and proof for the finite signals of the Whittaker-Kotelnikov-Shannon sampling theorem (WKS) in the frequency-time domain. The result of proving it is a new discrete frequency-temporal description of an arbitrary finite signal in the form of expansion into a double series on the orthogonal functions such as $\sin x/x$, or rectangular Woodward strobe functions, with an explicit form of the phase-frequency-temporal modulation function. The properties of the sampling theorem in the frequency-time domain have been substantiated. These properties establish that the basis of the frequency-time representation is orthogonal, the accuracy of approximation by the basic functions $\sin x/x$ and rectangular Woodward strobe functions are the same, and correspond to the accuracy of the UCS theorem approximation, while the number of reference points of an arbitrary, limited in the width of the spectrum and duration, signal, now taken by frequency and time, is determined by the signal base.

The devised description of signals in the frequency-time domain has been experimentally investigated using the detection-recovery of continuous, simple pulse, and linear-frequency-modulated (LFM) radio signals. The constructive nature of the resulting description has been confirmed, which is important and useful when devising methods, procedures, and algorithms for processing signals under the conditions of structural-parametric a priori uncertainty.

Keywords: radio monitoring, a priori uncertainty, sampling theorem, frequency-time domain, signal detection-recovery, Fourier processor.

References

- Gonorovskiy, I. S. (1986). Radiotekhnicheskie tsepi i signaly. Moscow: Radio i svyaz', 512.
- Vudvord, F. M. (1955). Teoriya veroyatnostey i teoriya informatsii s primenenie v radiolokatsii. Moscow: Sov. radio, 128.
- Whittaker, E. T. (1915). XVIII.—On the Functions which are represented by the Expansions of the Interpolation-Theory. Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, 35, 181–194. doi: <https://doi.org/10.1017/s0370164600017806>
- Whittaker, J. M. (1928). The “Fourier” Theory of the Cardinal Function. Proceedings of the Edinburgh Mathematical Society, 1 (3), 169–176. doi: <https://doi.org/10.1017/s0013091500013511>
- Kotel'nikov, V. A. (2006). On the transmission capacity of 'ether' and wire in electric communications. Uspekhi Fizicheskikh Nauk, 176 (7), 762. doi: <https://doi.org/10.3367/ufnr.0176.200607h.0762>
- Shannon, C. E. (1949). Communication in the Presence of Noise. Proceedings of the IRE, 37 (1), 10–21. doi: <https://doi.org/10.1109/jrproc.1949.232969>
- Shennon, K. (1963). Svyaz' pri nalichii shuma. V kn.: Shennon K. Raboty po teorii informatsii i kibernetike. Moscow: IL, 433–460.
- Shirmana, Ya. D. (Ed). (1970). Teoreticheskie osnovy radiolokatsii (1970). Moscow: Sov. radio, 560.
- Hurgin, Ya. I., Yakovlev, V. P. (2010). Finitnye funktsii v fizike i tekhnike. Moscow: Nauka, 416.
- Gabor, D. (1946). Theory of communication. Part 1: The analysis of information. Journal of the Institution of Electrical Engineers - Part III: Radio and Communication Engineering, 93 (26), 429–441. doi: <https://doi.org/10.1049/ji-3-2.1946.0074>
- Brillouin, L. (1956). Science and information theory. Academic Press inc.
- Max, J. (1981). Methodes et techniques de traitement du signal et applications aux mesures physiques. Tome 2. Appareillages. Exemples duplications. Methodes nouvelles, 256.
- Kalyuzhnyi, N. M. (2010). Sledstviya i prilozheniya obobshchennoy teoremy otschetov. Shosta naukova konferentsiya Kharkivskoho universytetu Povitrianykh Syl imeni I. Kozheduba «Novitni tekhnolohiyi dlia zakhystu povitrianoho prostoru». Kharkiv: KhUPS im. I.Kozheduba, 185–186.
- Kaliuzhnyi, N. M. (2012). Sampling theorem in frequency-time domain and its applications. TCSET '2012: modern problems of radio engineering, telecommunications, and computer science: proceedings of the XIth international conference, TCSET '2012. Lviv-Slavske, 164–166.
- Jerri, A. J. (1977). The Shannon sampling theorem—Its various extensions and applications: A tutorial review. Proceedings of the IEEE, 65 (11), 1565–1596. doi: <https://doi.org/10.1109/proc.1977.10771>
- Luke, H. D. (1999). The origins of the sampling theorem. IEEE Communications Magazine, 37 (4), 106–108. doi: <https://doi.org/10.1109/35.755459>
- Unser, M. (2000). Sampling-50 years after Shannon. Proceedings of the IEEE, 88 (4), 569–587. doi: <https://doi.org/10.1109/5.843002>
- Vaidyanathan, P. P. (2001). Generalizations of the sampling theorem: Seven decades after Nyquist. IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications, 48 (9), 1094–1109. doi: <https://doi.org/10.1109/81.948437>
- Hudiyakov, G. I. (2008). Teorema otschetov teorii signalov i ee sozdateli. Radiotekhnika i elektronika, 53 (9), 1157–1168.
- Guochang, W., Yadong, Z., Xiaohui, Y. (2010). Sampling Theory: From Shannon Sampling Theorem to Compressing Sampling. Information Technology Journal, 9 (6), 1231–1235. doi: <https://doi.org/10.3923/itj.2010.1231.1235>
- Kravchenko, V. F., Yurin, A. V. (2013). Novye konstruksii odnomernoy i dvumernoy obobshchennykh teorem Kravchenko-Kotel'nikova na osnove atomarnoy funktsii up(t). Radiotekhnika i elektronika, 58 (9), 971–976. doi: <https://doi.org/10.7868/s003384941309009x>

22. Alekseev, A. V. (2015). 100 let teoremy otschetov: issledovaniya, obobshcheniya i prilozheniya. *Morskie intellektual'nye tekhnologii*, 2-1 (28), 58–71.
23. Zhang, Q. (2019). Sampling theorem on shift invariant subspaces in mixed Lebesgue spaces. *Journal of Interdisciplinary Mathematics*, 22 (2), 121–128. doi: <https://doi.org/10.1080/09720502.2019.1578094>
24. Khanyan, G. S. (2013). Sampling theorem for finite duration signal with a non-obligatory zero index of the frequency band. *Izvestiya Yuzhnogo Federal'nogo Universiteta*, 20–25.
25. Porshnev, S. V., Kusaykin, D. V. (2016). O tochnosti vosstanovleniya periodicheskikh diskretnykh signalov konechnoy dlitel'nosti s pomoshch'yu ryada Kotel'nikova. *T-Comm: Telekommunikatsii i transport*, 10 (11), 4–8.
26. Hodakovskiy, V. A., Degtyarev, V. G. (2017). O teoreme otschetov i ee primenenii dlya sinteza i analiza signalov s ogranichennym spektrom. *Izvestiya peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya*, 14 (3), 562–573. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30102783>
27. Lubyshev, B. I., Obukhov, A. G. (2016). Scanning direction-wise Kotelnikov two-dimensional theorem. *Vestnik Irkutskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*, 1 (108), 48–56.
28. Kaliuzhniy, N. M., Belash, M. V., Pshenichnyh, S. V., Puziy, I. V., Orlenko, V. M. (2005). Experience of time-frequency signal analysis pulse compression as an approach to design of "ANTI-LPI" radar. *Applied Radio Electronics*, 4 (1), 69–73.
29. Kalyuzhnyy, N. M., Peretyagin, I. V. (1980). A.s. No. 849966 (SSSR). SHirokopolosnyy panoramniy radiopriemnik.
30. Kalyuzhnyy, N. M., Peretyagin, I. V., Perunov, Yu. M., Sturov, A. G., TSurskiy, D. A. (1986). A.s. No. 249218 (SSSR). Ustroystvo formirovaniya aktivnykh pritsel'nykh pomekh.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.234674
DEVISING METHODS TO SYNTHESIZE DISCRETE COMPLEX SIGNALS WITH REQUIRED PROPERTIES FOR APPLICATION IN MODERN INFORMATION AND COMMUNICATION SYSTEMS (p. 16–26)

Ivan Gorbenko

JSC «Institute of Information Technologies», Kharkiv, Ukraine
 V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4616-3449>

Oleksandr Zamula

JSC «Institute of Information Technologies», Kharkiv, Ukraine
 V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8973-6190>

Information and communication systems (ICSs) must comply with increasingly stringent requirements to ensure the reliability and speed of information transmission, noise immunity, information security. This paper reports the methods to synthesize discrete complex cryptographic signals, underlying the construction of which are random (pseudo-random) processes; the methods for synthesizing characteristic discrete complex signals whose construction is based on using the nature of the multiplicative group of a finite field; the results of studying the properties of the specified signal systems. It is shown that the methods built provide a higher synthesis performance than known methods and make it possible to algorithmize the synthesis processes for the construction of software and hardware devices to form such signals. The win in the time when synthesizing nonlinear signals in finite fields using the devised method is, compared to the known method, for the period of 9,972 elements is 1,039.6 times. The proposed method for synthesizing the entire system of such signals, based on decimation operation, outperforms the known method of difference sets in performance. Thus, for a signal period of 2,380 elements, the win in time exceeds 28 times. It has also been

shown that the application of such systems of complex signals could improve the efficiency indicators of modern ICSs. Thus, the imitation resistance of the system, when using complex discrete cryptographic signals with a signal period of 1,023 elements, is four orders of magnitude higher than when applying the linear signal classes (for example, M-sequences). For a signal period of 1,023 elements, the win (in terms of structural secrecy) when using the signal systems reported in this work exceeds 300 times at a period of 8,192, compared to the signals of the linear form (M-sequences).

Keywords: noise immunity of reception, noise immunity, secrecy, information security, discrete sequences, signal synthesis.

References

1. Varakin, L. E. (1985). *Sistemy svyazi s shumopodobnymi signalami*. Moscow: Radio i svyaz', 384.
2. Sverdluk, M. B. (1975). *Optimal'nye diskretnye signaly*. Moscow: Radio i svyaz', 200.
3. Liang, Q., Liu, X., Na, Z., Wang, W., Mu, J., Zhang, B. (2018). Communications, Signal Processing, and Systems. Proceedings of the CSPA Volume III: Systems. Springer, 1219. doi: <https://doi.org/10.1007/978-981-13-6508-9>
4. Ipatov, V. P. (2005). *Spread Spectrum and CDMA. Principles and Applications*. John Wiley & Sons Ltd. doi: <https://doi.org/10.1002/0470091800>
5. Michael Yang, S.-M. (2019). *Modern Digital Radio Communication Signals and Systems*. Springer, 664. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-71568-1>
6. Gantmaher, V. E., Bystrov, N. E., Chebotarev, D. V. (2005). *SHumopodobnye signaly. Analiz, sintez, obrabotka*. Sankt-Peterburg: Nauka i Tekhnika, 400.
7. Gorbenko, I. D., Zamula, A. A., Morozov, V. L. (2017). Information security and noise immunity of telecommunication systems under conditions of various internal and external impacts. *Telecommunications and Radio Engineering*, 76 (19), 1705–1717. doi: <https://doi.org/10.1615/telecomradeng.v76.i19.30>
8. Gorbenko, I. D., Zamula, A. A. (2017). Cryptographic signals: requirements, methods of synthesis, properties, application in telecommunication systems. *Telecommunications and Radio Engineering*, 76 (12), 1079–1100. doi: <https://doi.org/10.1615/telecomradeng.v76.i12.50>
9. DSTU 7624:2014. *Informatsiyni tekhnolohiyi. Kryptohrafichnyi zakhyst informatsiyi. Alhorytm symetrychnoho blokovoho peretvorennya* (2015). Kyiv: Minekonomrozvytku Ukrainy.
10. Kuznetsov, A. A., Moskovchenko, I. V., Prokopovych-Tkachenko, D. I., Kuznetsova, T. Y. (2019). Heuristic methods of gradient search for the cryptographic boolean functions. *Telecommunications and Radio Engineering*, 78(10), 879–899. doi: <https://doi.org/10.1615/telecomradeng.v78.i10.40>
11. NIST 800-90 b. *Recommendation for the Entropy Sources Used for Random Bit Generation* (2012).
12. Tesař, P. (2017). Influence of Non-Linearity on Selected Cryptographic Criteria of 8x8 S-Boxes. *Acta Informatica Pragensia*, 6 (2), 162–173. doi: <https://doi.org/10.18267/j.aip.107>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.233538
DEVELOPMENT OF AN EXPERIMENTAL-ESTIMATION METHOD FOR ESTIMATING INDICES OF RESIDUAL LIFE OF A RADIO TECHNICAL COMPLEX (p. 27–39)

Vadym Lukianchuk

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
 Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5695-7723>

Boris Lanetskii

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5889-0307>

Hennadii Khudov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine

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

Ivan Terebuha

Combat unit A0800, Odessa, Ukraine

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4701-0623>

Oleksii Zvieriev

Central Scientific Research Institute of Armament and Military
Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2274-3115>

Oleh Shknaï

Central Scientific Research Institute of Armament and Military
Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5572-4917>

Denys Zapara

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3949-7555>

Serhii Petruk

Central Scientific Research Institute of Armament and Military
Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9644-1550>

Valentyn Dyptan

The National Defence University of Ukraine named after Ivan
Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0286-7460>

Oleksandr Piavchuk

The National Defence University of Ukraine named after Ivan
Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5623-1866>

To implement the operation of a radio technical complex according to its technical condition, it is necessary to jointly evaluate its reliability and residual life indices with required accuracy and reliability and minimization of the scope of special tests. The known methods are focused on separate solutions to the problems of estimating these indices as applied to the regulated strategy.

To solve this problem, general provisions have been developed for estimating the indices of residual life of the radio technical complex including the accepted assumptions and limitations for developing the method, the estimated indices, and criteria of limiting state. The developed experiment-calculated method is a set of mathematical models of change of the reliability indices of a radio technical complex depending on calendar duration of operation or total operating time and analytical models of estimating the indices of its residual life.

The mathematical models of change of mean time between failures, the probability of failure-free switching, and the parameter of the flow of failures of the radio technical complex depending on calendar duration of operation or the total operating time were presented in a form of regressive dependences. Analytical models of estimating the residual life indices are ratios for calculating the "average residual service life (resource)" according to the technical and economic criterion using regression-time dependences of the reliability indices.

The developed experiment-calculated method can be used to estimate the indices of residual life of the radio technical complex

with acceptable accuracy (no more than 2 quarters) and reliability (no worse than 0.8). In this case, the duration of the intervals of predicting the reliability indices should be 0.5 to 1 year and the corresponding observation intervals should be more than 1 year.

Keywords: estimation of indices of residual life, operation according to technical condition, radio technical complex.

References

1. Lukianchuk, V., Lanetskii, B., Khudov, H., Zvieriev, O., Terebuha, I., Kuprii, V. et. al. (2021). Development of the combined method for evaluating and controlling the reliability indicator «probability of failure-free switching» of a radio technical complex. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (9 (109)), 6–17. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225484>
2. Lanetskii, B., Lukyanchuk, V., Khudov, H., Fisun, M., Zvieriev, O., Terebuha, I. (2020). Developing the model of reliability of a complex technical system of repeated use with a complex operating mode. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (4 (107)), 55–65. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.214995>
3. Sudakov, R. S., Teskin, O. I. (Ed.) (1989). *Nadezhnost i effektivnost v tekhnike. Vol. 6: Eksperimentalnaya otrabotka i ispytaniya*. Moscow: Mashinostroenie, 376.
4. 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: <http://doi.org/10.30534/ijeter/2020/66862020>
5. Lanetskiy, B. N., Lukianchuk, V. V., Artemenko, A. A. (2016). Complex evaluation of faultness and residual durability characteristics of the difficult technical systems that are exploited on the technical state. *generalit Systemy obrobky informatsiyi*, 2 (139), 40–43.
6. Gnedenko, B. V., Belyaev, Yu. K., Solovev, A. D. (2017). *Matematicheskie metody v teorii nadezhnosti. Osnovnye kharakteristiki nadezhnosti i ikh statisticheskiy analiz*. Moscow: KD Librokom, 582.
7. Mitchell, Z. W. (2003). *A Statistical Analysis of Construction Equipment Repair Costs Using Field Data & The Cumulative Cost Model*. Blacksburg, 292.
8. Kopnov, V. A. (1993). Residual life, linear fatigue damage accumulation and optimal stopping. *Reliability Engineering & System Safety*, 40 (3), 319–325. doi: [http://doi.org/10.1016/0951-8320\(93\)90068-a](http://doi.org/10.1016/0951-8320(93)90068-a)
9. Chopra, S., Meindl, P. (2004). *Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation*. Prentice-Hall, 2, 40–44.
10. Brockwell, P. J., Davis, D. V. (2002). *Introduction to Time Series and Forecasting*. Springer-Verlag, 153. doi: <http://doi.org/10.1007/b97391>
11. Chen, H. M., Vidakovic, B., Mavris, N. D. (2004). Multiscale forecasting method using armax models. *Technological Forecasting and Social Change*, 1, 34–39.
12. Strelnikov, V. P. (2000). *Opređenje ozhidaemoy ostatechnoy narabotki pri DM-raspređenii*. *Matematichni mashini i sistemi*, 1, 94–100.
13. DSTU 2864-94. *Nadiinist tekhniki. Eksperymentalne otsiniuvannia ta kontrol nadiinosti. Osnovni polozhennia (1995)*. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy, 30.
14. Belyaev, Yu. K. et. al.; Ushakov, I. A. (Ed.) (1985). *Nadezhnost tekhnicheskikh sistem*. Moscow: Radio i svyaz, 608.
15. Viktorova, V. S., Stepanyants, A. S. (2016). *Modeli i metody rascheta nadezhnosti tekhnicheskikh sistem*. Moscow: LENAND, 256.
16. Kredentser, B. P. (2019). *Raschet pokazateley nadezhnosti tekhnicheskikh sistem s izbytochnostyu*. Kyiv: Feniks, 52.

17. Tobias, P. A., Trindade, D. C. (2012). *Applied Reliability*. BocaRaton: CRC Press, 600.
18. Kuzavkov, V., Khusainov, P., Vavrichen, O. (2017). Evaluation of the same type firmware network technical condition. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoi akademii Derzhavnoi prykordonnoi sluzhby Ukrainy. Seriya: Viiskovi ta tekhnichni nauky*, 3, 314–323.
19. Zhang, W., Zhang, G., Ran, Y., Shao, Y. (2018). The full-state reliability model and evaluation technology of mechatronic product based on meta-action unit. *Advances in Mechanical Engineering*, 10 (5). doi: <http://doi.org/10.1177/1687814018774191>
20. Peng, D., Zichun, N., Bin, H. (2018). A New Analytic Method of Cold Standby System Reliability Model with Priority. *MATEC Web of Conferences*, 175. doi: <http://doi.org/10.1051/mateconf/201817503060>
21. Guo, J., Wang, X., Liang, J., Pang, H., Goncalves, J. (2018). Reliability Modeling and Evaluation of MMCs Under Different Redundancy Schemes. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 33 (5), 2087–2096. doi: <http://doi.org/10.1109/tpwr.2017.2715664>
22. Ding, F., Sheng, L., Ao, Z. et. al. (2017). Research on reliability prediction method for traction power supply equipment based on continuous time Markov degradation process. *Proc CSEE*, 37, 1937–1945.
23. Peng, W., Shen, L., Shen, Y., Sun, Q. (2018). Reliability analysis of repairable systems with recurrent misuse-induced failures and normal-operation failures. *Reliability Engineering & System Safety*, 171, 87–98. doi: <http://doi.org/10.1016/j.res.2017.11.016>
24. S-300 PS SA-10B Grumble B Surface-to-Air missile (2020). Available at: https://www.armyrecognition.com/s-300ps_sa-10b_grumble_b_systems_vehicles_uk/s-300_ps_s-300ps_sa-10b_grumble_b_long_range_surface-to-air_missile_technical_data_sheet_information.html
25. 30N6E “lap Lid”. Available at: <https://www.radartutorial.eu/19.kartei/06.missile/karte005.en.html>
26. Dreyper, N., Smit, G. (1986). *Prikladnoy regressionniy analiz*. Kn. 1. Moscow: Finansy i statistika, 366.
27. Vuchkov, I., Boyadzhieva, L., Solakov, E.; Adler, Yu. P. (Ed.) (1987). *Prikladnoy lineyniy regressionniy analiz*. Moscow: Finansy i statistika, 230.
28. Ivanovskiy, R. I. (2011). *Prikladnye aspekty teorii chuvstvitelnosti*. Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU, 3, 102–110.
29. Glagolev, M. V. (2012). *Analiz chuvstvitelnosti modeli*. *Dinamika okruzhayushey srede i globalnye izmeneniya klimata*, 3 (3), 31–53.
30. Bulinskaya, E. V., Shigida, B. I. (2018). Sensitivity analysis of some applied probability models. *Fundamentalnaya i prikladnaya matematika*, 22 (3), 19–35.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.233786

IMPROVING A MODEL OF OBJECT RECOGNITION IN IMAGES BASED ON A CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK (40–50)

Bogdan Knysch

Vinnitsia National Technical University,
Vinnitsia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6779-4349>

Yaroslav Kulyk

Vinnitsia National Technical University,
Vinnitsia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8327-8259>

This paper considers a model of object recognition in images using convolutional neural networks; the efficiency of the

model-based process involving the training of deep layers in convolutional neural networks has been studied. There are objective difficulties associated with determining the optimal characteristics of neural networks, so there is an issue related to retraining a neural network. Eliminating the retraining by determining only the optimal number of epochs is insufficient since it does not provide high accuracy.

The requirements for the set of images for model training and verification have been defined. These requirements are better met by the INRIA image set (France).

GoogLeNet (USA) has been established to be a trained model that can perform object recognition on images but the object recognition reliability is insufficient. Therefore, it becomes necessary to improve the effectiveness of object recognition in images. It is advisable to use the GoogLeNet architecture to build a specialized model that, by changing the parameters and retraining some layers, could allow for better recognition of objects in images.

Ten models were trained using the following parameters: learning speed, the number of epochs, an optimization algorithm, the type of learning speed change, a gamma or power coefficient, a pre-trained model.

A convolutional neural network has been developed to improve the precision and efficiency of object recognition in images. The optimal neural network training parameters were determined: training speed, 0.000025; the number of epochs, 100; a power coefficient, 0.25, etc. A 3 % increase in precision was obtained, which makes it possible to assert the proper choice of the architecture for the developed network and the selection of its parameters. That allows this network to be used for practical tasks of object recognition in images.

Keywords: image processing, object recognition, convolutional neural networks, unmanned aerial vehicle.

References

1. Bilinskiy, Y. Y., Knysh, B. P., Kulyk, Y. A. (2017). Quality estimation methodology of filter performance for suppression noise in the mathcad package. *Herald of Khmelnytskyi national university*, 3, 125–130. Available at: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/23238/47857.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
2. Gall, J., Razavi, N., Van Gool, L. (2012). An Introduction to Random Forests for Multi-class Object Detection. *Outdoor and Large-Scale Real-World Scene Analysis*, 243–263. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-34091-8_11
3. Viola, P., Jones, M. (2001). Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. *Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. CVPR 2001. doi: <https://doi.org/10.1109/cvpr.2001.990517>
4. Weiming Hu, Wei Hu, Maybank, S. (2008). AdaBoost-Based Algorithm for Network Intrusion Detection. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 38 (2), 577–583. doi: <https://doi.org/10.1109/tsmcb.2007.914695>
5. Shang, W., Sohn, K., Almeida, D., Honglak, L. (2016). Understanding and Improving Convolutional Neural Networks via Concatenated Rectified Linear Units. *Proceedings of The 33rd International Conference on Machine Learning*, 48, 2217–2225. Available at: <http://proceedings.mlr.press/v48/shang16.html>
6. Simonyan, K., Zisserman, A. (2015). Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition. *ICLR*. Available at: <https://arxiv.org/pdf/1409.1556.pdf>
7. Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., Farhadi, A. (2016). You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. *2016 IEEE Con-*

- ference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). doi: <https://doi.org/10.1109/cvpr.2016.91>
8. Szegedy, C., Liu, W., Jia, Y., Sermanet, P., Reed, S., Anguelov, D. et al. (2015). Going deeper with convolutions. 2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). doi: <https://doi.org/10.1109/cvpr.2015.7298594>
 9. Prathap, G., Afanasyev, I. (2018). Deep Learning Approach for Building Detection in Satellite Multispectral Imagery. 2018 International Conference on Intelligent Systems (IS). doi: <https://doi.org/10.1109/is.2018.8710471>
 10. Wu, K., Chen, Z., Li, W. (2018). A Novel Intrusion Detection Model for a Massive Network Using Convolutional Neural Networks. IEEE Access, 6, 50850–50859. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2018.2868993>
 11. Maggiori, E., Tarabalka, Y., Charpiat, G., Alliez, P. (2017). Can semantic labeling methods generalize to any city? The inria aerial image labeling benchmark. 2017 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). doi: <https://doi.org/10.1109/igarss.2017.8127684>
 12. Knysh, B., Kulyk, Y. (2021). Development of an image segmentation model based on a convolutional neural network. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (2 (110)), 6–15. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.228644>
 13. Krizhevsky, A., Sutskever, I., Hinton, G. E. (2012). ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. NIPS'12: Proceedings of the 25th International Conference on Neural Information Processing Systems, 1097–1105. Available at: <https://papers.nips.cc/paper/2012/file/c399862d3b9d6b76c8436e924a68c45b-Paper.pdf>
 14. Zeiler, M. D., Fergus, R. (2014). Visualizing and Understanding Convolutional Networks. Lecture Notes in Computer Science, 818–833. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-10590-1_53
 15. Deep Learning: GoogLeNet Explained. Towards Data Science. Available at: <https://towardsdatascience.com/deep-learning-googlenet-explained-de8861c82765>
 16. Tao, A., Barker, J., Sarathy, S. (2016). DetectNet: Deep Neural Network for Object Detection in DIGITS. NVidia developer blog. Available at: <https://developer.nvidia.com/blog/detectnet-deep-neural-network-object-detection-digits>
 17. Kingma, D. P., Ba, J. (2015). Adam: a method for stochastic optimization. ICLR 2015. Available at: <https://arxiv.org/pdf/1412.6980.pdf>
 18. Kvetny, R. N., Masliy, R. V., Kyrlyenko, O. M. (2020). Detection and classification of traffic objects using the environment digits. Optoelectronic Information-Power Technologies, 1 (39), 14–20. doi: <https://doi.org/10.31649/1681-7893-2020-39-1-14-20>
 19. Wilson, A. C., Roelofs, R., Stern, M., Srebro, N., Recht, B. (2017). The marginal value of adaptive gradient methods in machine learning. 31st Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS 2017). Available at: <https://arxiv.org/pdf/1705.08292v2.pdf>
 20. Guo, Z., Chen, Q., Wu, G., Xu, Y., Shibasaki, R., Shao, X. (2017). Village Building Identification Based on Ensemble Convolutional Neural Networks. Sensors, 17 (11), 2487. doi: <https://doi.org/10.3390/s17112487>
 21. Erdem, F., Avdan, U. (2020). Comparison of Different U-Net Models for Building Extraction from High-Resolution Aerial Imagery. International Journal of Environment and Geoinformatics, 7 (3), 221–227. doi: <https://doi.org/10.30897/ijgeo.684951>
 22. Nvidia Aerial Drone Dataset. Available at: <https://nvidia.box.com/shared/static/ft9cc5yjrbbkh07wcvu5j9zola6i1.gz>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.232718

DEVELOPMENT OF ESTIMATION AND FORECASTING METHOD IN INTELLIGENT DECISION SUPPORT SYSTEMS (p. 51–62)

Qasim Abbood Mahdi

Al Taff University College, Karbala, Republic of Iraq

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

Andrii Shyshatskyi

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

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

Yevgen Prokopenko

Ivan Chernyakhovsky National Defense University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2003-5035>

Tetiana Ivakhnenko

Central Scientifically-research institute of Arming and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2583-2068>

Dmytro Kupriyenko

National Academy of State Border Guard Service of Ukraine named after Bohdan Khmelnytskyi, Khmelnytskyi, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4086-1310>

Vira Golian

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5981-4760>

Roman Lazuta

Military Institute of Telecommunications and Information Technologies named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine

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

Serhii Kravchenko

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8163-8027>

Nadiia Protas

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0943-0587>

Alexander Momit

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8901-7006>

The method of estimation and forecasting in intelligent decision support systems was developed. The essence of the method is the analysis of the current state of the object and short-term forecasting of the object state. Objective and complete analysis is achieved by using improved fuzzy temporal models of the object state and an improved procedure for processing the original data under uncertainty. Also, the possibility of objective and complete analysis is achieved through an improved procedure for forecasting the object state and an improved procedure for learning evolving artificial neural networks. The concepts of fuzzy cognitive model are related by subsets of influence fuzzy degrees, arranged in chronological order, taking into account the time lags of the corresponding components of the multidimensional time series. The method is based on fuzzy temporal models and evolving artificial neural networks. The peculiarity of the method is the possibility of taking into account the type of a priori uncertainty about the object state (full awareness of the object state,

partial awareness of the object state and complete uncertainty about the object state). The possibility to clarify information about the object state is achieved using an advanced training procedure. It consists in training the synaptic weights of the artificial neural network, the type and parameters of the membership function, as well as the architecture of individual elements and the architecture of the artificial neural network as a whole. The object state forecasting procedure allows conducting multidimensional analysis, consideration, and indirect influence of all components of a multidimensional time series with their different time shifts relative to each other under uncertainty. The method provides an increase in data processing efficiency at the level of 15–25 % using additional advanced procedures.

Keywords: decision support systems, artificial neural networks, state forecasting, training of artificial neural networks.

References

- Shyshatskiy, A. V., Bashkyrov, O. M., Kostyna, O. M. (2015). Rozvytok intehrovanykh system zviazku ta peredachi danykh dlia potreb Zbroinykh Syl. *Ozbroiennia ta viiskova tekhnika*, 1 (5), 35–40.
- 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: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203301>
- Bodyanskiy, E., Strukov, V., Uzlov, D. (2017). Generalized metrics in the problem of analysis of multidimensional data with different scales. *Zbirnyk naukovykh prats Kharkivskoho natsionalnoho universytetu Povitrianykh Syl*, 3 (52), 98–101.
- Pievtsov, H., Turinskiy, O., Zhyvotovskiy, R., Sova, O., Zvieriev, O., Lanetskii, B., Shyshatskiy, 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: <http://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001353>
- Zuiev, 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: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208554>
- Shyshatskiy, A., Zvieriev, O., Salnikova, O., Demchenko, Ye., Trotsko, O., Neroznak, Ye. (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: <http://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/206942020>
- Trotsenko, R. V., Bolotov, M. V. (2014). Data extraction process for heterogeneous sources. *Privolzhskiy nauchnyy vestnik*, 12–1 (40), 52–54.
- Rotshcheyn, A. P. (1999). *Intellektualnye tekhnologiyi identifikatsiyi: nechetkie mnozhestva, geneticheskie algoritmy, neyronnye seti*. Vinitsa: “UNIVERSUM”, 320.
- Alpeeva, E. A., Volkova, I. I. (2019). The use of fuzzy cognitive maps in the development of an experimental model of automation of production accounting of material flows. *Russian Journal of Industrial Economics*, 12 (1), 97–106. doi: <http://doi.org/10.17073/2072-1633-2019-1-97-106>
- Zagranovskaya, A. V., Eyssner, Yu. N. (2017). Simulation scenarios of the economic situation based on fuzzy cognitive maps. *Modern economics: problems and solutions*, 10 (94), 33–47. doi: <http://doi.org/10.17308/meps.2017.10/1754>
- Simankov, V. S., Putyato, M. M. (2013). *Issledovanie metodov kognitivnogo analiza. Sistemniy analiz, upravlenie i obrabotka informatsiyi*, 13, 31–35.
- Onykiy, B., Artamonov, A., Ananieva, A., Tretyakov, E., Pronicheva, L., Ionkina, K., Suslina, A. (2016). Agent Technologies for Polythematic Organizations Information-Analytical Support. *Procedia Computer Science*, 88, 336–340. doi: <http://doi.org/10.1016/j.procs.2016.07.445>
- Ko, Y.-C., Fujita, H. (2019). An evidential analytics for buried information in big data samples: Case study of semiconductor manufacturing. *Information Sciences*, 486, 190–203. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ins.2019.01.079>
- Çavdar, A. B., Ferhatosmanoğlu, N. (2018). Airline customer lifetime value estimation using data analytics supported by social network information. *Journal of Air Transport Management*, 67, 19–33. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2017.10.007>
- Ballester-Caudet, A., Campins-Falcó, P., Pérez, B., Sancho, R., Lorrente, M., Sastre, G., González, C. (2019). A new tool for evaluating and/or selecting analytical methods: Summarizing the information in a hexagon. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 118, 538–547. doi: <http://doi.org/10.1016/j.trac.2019.06.015>
- Ramaji, I. J., Memari, A. M. (2018). Interpretation of structural analytical models from the coordination view in building information models. *Automation in Construction*, 90, 117–133. doi: <http://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.025>
- Pérez-González, C. J., Colebrook, M., Roda-García, J. L., Rosa-Remedios, C. B. (2019). Developing a data analytics platform to support decision making in emergency and security management. *Expert Systems with Applications*, 120, 167–184. doi: <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.11.023>
- Chen, H. (2018). Evaluation of Personalized Service Level for Library Information Management Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process. *Procedia Computer Science*, 131, 952–958. doi: <http://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.233>
- Chan, H. K., Sun, X., Chung, S.-H. (2019). When should fuzzy analytic hierarchy process be used instead of analytic hierarchy process? *Decision Support Systems*, 125, 113114. doi: <http://doi.org/10.1016/j.dss.2019.113114>
- Osman, A. M. S. (2019). A novel big data analytics framework for smart cities. *Future Generation Computer Systems*, 91, 620–633. doi: <http://doi.org/10.1016/j.future.2018.06.046>
- Gödri, I., Kardos, C., Pfeiffer, A., Vánca, J. (2019). Data analytics-based decision support workflow for high-mix low-volume production systems. *CIRP Annals*, 68 (1), 471–474. doi: <http://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.04.001>
- Harding, J. L. (2013). Data quality in the integration and analysis of data from multiple sources: some research challenges. *ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-2/W1, 59–63. doi: <http://doi.org/10.5194/isprsarchives-xl-2-w1-59-2013>
- Rybak, V. A., Shokr, A. (2016). Analysis and comparison of existing decision support technology. *System analysis and applied information science*, 3, 12–18.
- Rodionov, M. A. (2014). Problems of information and analytical support of contemporary strategic management. *Civil Aviation High Technologies*, 202, 65–69.
- Bednář, Z. (2018). Information Support of Human Resources Management in Sector of Defense. *Vojenské rozhledy*, 27 (1), 45–68.
- Palchuk, V. (2017). *Methods of Content-Monitoring and Content-Analysis of Information Flows: Modern Features*. Naukovi pratsi Natsionalnoi biblioteky Ukrainy imeni V. I. Vernadskoho, 48, 506–526.

27. Mir, S. A., Padma, T. (2016). Evaluation and prioritization of rice production practices and constraints under temperate climatic conditions using Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP). *Spanish Journal of Agricultural Research*, 14 (4), e0909. doi: <http://doi.org/10.5424/sjar/2016144-8699>
28. Kljushin, V. V. Theoretical and methodological basis for the formation and evaluation of the level of the economic system's strategic economic potential. *Modern Management Technology*. 12 (48). Available at: <https://sovman.ru/article/4805/>
29. Bogomolova, I. P., Omelchenko, O. M. (2014). Analiz vliyaniya faktorov effektivnosti khozyaystvennoy deyatelnosti na ekonomiku integrirovannykh struktur. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy*, 3, 157–162.
30. Sherafat, A., Yavari, K., Davoodi, S. M. R. (2014). Evaluation of the Strategy Management Implementation in Project-Oriented Service Organizations. *Acta Universitatis Danubius. Economica*, 10 (1), 16–25.
31. Koshlan, A., Salnikova, O., Chekhovska, M., Zhyvotovskiy, R., Prokopenko, Y., Hurskyi, T. et. al. (2019). Development of an algorithm for complex processing of geospatial data in the special-purpose geoinformation system in conditions of diversity and uncertainty of data. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (101)), 35–45. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.180197>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.233533

DEVELOPMENT OF A CONCEPT FOR BUILDING A CRITICAL INFRASTRUCTURE FACILITIES SECURITY SYSTEM (p. 63–83)

Serhii Yevseiev

Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkiv, Ukraine

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

Yevgen Melenti

Juridical Personnel Training Institute for the Security Service of Ukraine Yaroslav Mudryi National Law University, Kharkiv, Ukraine

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2955-2469>

Oleksandr Voitko

Institute of the Troops (Forces) Support and Information Technologies

The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovsky, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4610-4476>

Vitalii Hrebeniuk

National Academy of Security Service of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5169-8694>

Anna Korchenko

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0016-1966>

Serhii Mykus

Institute of the Troops (Forces)

Support and Information Technologies

The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovsky, Kyiv, Ukraine

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7103-4166>

Oleksandr Milov

Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6135-2120>

Oleksandr Prokopenko

Center of Military and Strategic Studies

The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovsky, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5482-0317>

Oleksandr Sievierinov

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6327-6405>

Dmytro Chopenko

Air Force Science Center

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1512-5995>

To effectively protect critical infrastructure facilities (CIF), it is important to understand the focus of cybersecurity efforts. The concept of building security systems based on a variety of models describing various CIF functioning aspects is presented.

The development of the concept is presented as a sequence of solving the following tasks. The basic concepts related to cyberattacks on CIF were determined, which make it possible to outline the boundaries of the problem and determine the level of formalization of the modeling processes. The proposed threat model takes into account possible synergistic/emergent features of the integration of modern target threats and their hybridity. A unified threat base that does not depend on CIF was formed. The concept of modeling the CIF security system was developed based on models of various classes and levels. A method to determine attacker's capabilities was developed. A concept for assessing the CIF security was developed, which allows forming a unified threat base, assessing the signs of their synergy and hybridity, identifying critical CIF points, determining compliance with regulatory requirements and the state of the security system. The mathematical tool and a variety of basic models of the concept can be used for all CIFs, which makes it possible to unify preventive measures and increase the security level. It is proposed to use post-quantum cryptography algorithms on crypto-code structures to provide security services. The proposed mechanisms provide the required stability (2^{30} – 2^{35} group operations), the rate of cryptographic transformation is comparable to block-symmetric ciphers (BSC) and reliability (P_{err} 10^{-9} – 10^{-12}).

Keywords: critical infrastructure, security system, threat classifier, concept, modeling method.

References

- 1 (U//FOUO) Leftwing Extremists Likely to Increase Use of Cyber Attacks over the Coming Decade (2016). Washington: Department of Homeland Security. Available at: <https://fas.org/irp/eprint/leftwing.pdf>
2. Stouffer, K., Pillitteri, V., Lightman, S., Abrams, M., Hans, A. (2015). Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security. National Institute of Standard and Technology. Available at: <http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.800-82r2.pdf>
3. Stoddart, K. (2016). UK cyber security and critical national infrastructure protection. *International Affairs*, 92 (5), 1079–1105. doi: <http://doi.org/10.1111/1468-2346.12706>
4. Konstantas, J. (2016, April 19). Dam Hackers! The Rising Risks to ICS and SCADA Environments. *Security Week*. Available at: <http://www.securityweek.com/dam-hackers-rising-risks-ics-and-scada-environments>

5. Westervelt, R. (2012). Old Application Vulnerabilities, Misconfigurations Continue to Haunt. TechTarget. Available at: <https://searchsecurity.techtarget.com/>
6. Ashford, W. (2014). Industrial control systems: What are the security challenges? Computer Weekly. Available at: <http://www.computerweekly.com/news/2240232680/Industrial-control-systems-What-are-the-security-challenges>
7. Schneider, J., Obermeier, S., Schlegal, R. (2015). Cyber Security maintenance for SCADA systems. 15 Proceedings of the 3rd International Symposium for ICS & SCADA Cyber Security Research, 89–94. doi: <http://doi.org/10.14236/ewic/ics2015.10>
8. Russon, M. (2016). How hackers could cripple the UK: Doomsday infrastructure cyber attacks would cost country £442bn. International Business Times. Available at: <http://www.ibtimes.co.uk/how-hackers-could-cripple-uk-critical-infrastructure-cyberattacks-would-cost-country-442bn-1554509>
9. Fjäder, C. (2014). The nation-state, national security and resilience in the age of globalisation. *Resilience*, 2 (2), 114–129. doi: <http://doi.org/10.1080/21693293.2014.914771>
10. Holt, T.J., Bossler, A. M., Seigfried-Spellar, K. C. (2015). *Cybercrime And Digital Forensics: An Introduction*. New York: Routledge, 500. doi: <http://doi.org/10.4324/9781315777870>
11. Charlton, C. (2017). Armchair Warriors: Terrifying new generation of ‘cybernative’ ISIS terrorists could target ‘Facebook and West’s energy grids’ in a bid to cause mass panic and mayhem. The Sun. Available at: <https://www.thesun.co.uk/news/2643688/cyber-terrorism-attacks-threat-level-isis-facebook-energy/>
12. Denning, D. E. (2000). Cyber terrorism: The Logic Bomb versus the Truck Bomb. *Global Dialogue*, 2 (4), 29–37.
13. 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: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.205702>
14. Hryshchuk, R., Yevseiev, S., Shmatko, A. (2018). Construction methodology of information security system of banking information in automated banking systems. Vienna: Premier Publishing s. r. o., 284. doi: http://doi.org/10.29013/r.hryshchuk_s.yevseiev_a.shmatko.cmissbiabs.284.2018
15. Kondratov, S., Bobro, D., Horbulin, V. et. al.; Sukhodolia, O. (Ed.) (2017). *Developing The Critical Infrastructure Protection System in Ukraine*. Kyiv: NISS, 184.
16. Marsh, R. T. (Ed.) (1997). *Critical Infrastructures: Protecting America’s Infrastructures*. United States Government Printing Office. Report of the President’s Commission on Critical Infrastructure Protection. Washington.
17. Abele-Wigert, I., Dunn, M., Wenger, A., Mauer, V. (Eds.) (2006). *International CIIP Handbook 2006: An Inventory of 20 National and 6 International Critical Information Infrastructure Protection Policies*. Center for Security Studies. Vol. I. ETH Zurich. Zurich, 495.
18. Dunn, M., Mauer, V., Abele-Wigert, I. (Eds.) (2006). *International CIIP Handbook 2006: Analyzing Issues, Challenges, and Prospects*. Center for Security Studies. Vol. II. ETH Zurich. Zurich, 238.
19. Assaf, D. (2008). Models of critical information infrastructure protection. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 1, 6–14. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ijcip.2008.08.004>
20. Lagadec, P.(1981). *La Civilisation du Risque: Catastrophes Technologiques et Responsabilite’ Sociale*. Science Ouverte. Paris: E’ditions du Seuil, 21.
21. Beck, U. (1986). *Risikogesellschaft: Auf dem Weg in eine andere Moderne*. Frankfurt: Suhrkamp.
22. Perrow, C. (1984). *Normal Accidents: Living with High-Risk Technologies*. New York: Basic Books, 386.
23. Rinaldi, S. M., Peerenboom, J. P., Kelly, T. K. (2001). Identifying, understanding, and analyzing critical infrastructure interdependencies. *IEEE Control Systems*, 21 (6), 11–25. doi: <http://doi.org/10.1109/37.969131>
24. Casalicchio, E., Galli, E., Tucci, S.; Setola, R., Geretshuber, S. (Eds.) (2009). *Modeling and Simulation of Complex Interdependent Systems: A Federated Agent-Based Approach*. CRITIS 2008. LNCS. Heidelberg: Springer, 5508, 72–83. doi: http://doi.org/10.1007/978-3-642-03552-4_7
25. Haimes, Y. Y., Jiang, P. (2001). Leontief-Based Model of Risk in Complex Interconnected Infrastructures. *Journal of Infrastructure Systems*, 7 (1), 1–12. doi: [http://doi.org/10.1061/\(asce\)1076-0342\(2001\)7:1\(1\)](http://doi.org/10.1061/(asce)1076-0342(2001)7:1(1))
26. Haimes, Y. Y., Horowitz, B. M., Lambert, J. H., Santos, J. R., Lian, C., Crowther, K. G. (2005). Inoperability Input-Output Model for Interdependent Infrastructure Sectors. I: Theory and Methodology. *Journal of Infrastructure Systems*, 11 (2), 67–79. doi: [http://doi.org/10.1061/\(asce\)1076-0342\(2005\)11:2\(67\)](http://doi.org/10.1061/(asce)1076-0342(2005)11:2(67))
27. Santos, J. R., Haimes, Y. Y. (2004). Modeling the Demand Reduction Input-Output (I-O) Inoperability Due to Terrorism of Interconnected Infrastructures*. *Risk Analysis*, 24 (6), 1437–1451. doi: <http://doi.org/10.1111/j.0272-4332.2004.00540.x>
28. Haimes, Y. Y., Horowitz, B. M., Lambert, J. H., Santos, J., Crowther, K., Lian, C. (2005). Inoperability Input-Output Model for Interdependent Infrastructure Sectors. II: Case Studies. *Journal of Infrastructure Systems*, 11 (2), 80–92. doi: [http://doi.org/10.1061/\(asce\)1076-0342\(2005\)11:2\(80\)](http://doi.org/10.1061/(asce)1076-0342(2005)11:2(80))
29. Setola, R.; Goetz, E., Shenoi, S. (Eds.) (2007). *Analysis of Interdependencies Between Italy’s Economic Sectors. Critical Infrastructure Protection: Proceedings of the First Annual IFIP Working Group 11.10 International Conference on Critical Infrastructure Protection*. IFIP. Springer: Hanover, 253, 311–321. doi: http://doi.org/10.1007/978-0-387-75462-8_22
30. Andrijeic, E., Horowitz, B. (2006). A Macro-Economic Framework for Evaluation of Cyber Security Risks Related to Protection of Intellectual Property. *Risk Analysis*, 26 (4), 907–923. doi: <http://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2006.00787.x>
31. Haimes, Y. Y., Chittester, C. G. (2005). A Roadmap for Quantifying the Efficacy of Risk Management of Information Security and Interdependent SCADA Systems. *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, 2 (2). doi: <http://doi.org/10.2202/1547-7355.1117>
32. Crowther, K. G. (2008). Decentralized risk management for strategic preparedness of critical infrastructure through decomposition of the inoperability input–output model. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 1, 53–67. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ijcip.2008.08.009>
33. Tanaka, H. (2009). Quantitative Analysis of Information Security Interdependency between Industrial Sectors. *Proceedings of the 3rd International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement (ESEM 2009)*. Lake Buena Vista: IEEE Computer Society Press, 574–583. doi: <http://doi.org/10.1109/esem.2009.5314218>
34. Lian, C., Haimes, Y. Y. (2006). Managing the risk of terrorism to interdependent infrastructure systems through the dynamic inoperability input–output model. *Systems Engineering*, 9 (3), 241–258. doi: <http://doi.org/10.1002/sys.20051>
35. Barker, K., Santos, J. R. (2010). Measuring the efficacy of inventory with a dynamic input–output model. *International Journal of Pro-*

- duction Economics, 126 (1), 130–143. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.08.011>
36. Santos, J. R. (2008). Interdependency analysis with multiple probabilistic sector inputs. *Journal of Industrial & Management Optimization*, 4 (3), 489–510. doi: <http://doi.org/10.3934/jimo.2008.4.489>
 37. Jung, J. (2009). Probabilistic Extension to the Inoperability Input-Output Model: P-IIM. Charlottesville: University of Virginia.
 38. Santos, J. R., Haimes, Y. Y., Lian, C. (2007). A Framework for Linking Cybersecurity Metrics to the Modeling of Macroeconomic Interdependencies. *Risk Analysis*, 27 (5), 1283–1297. doi: <http://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2007.00957.x>
 39. Nieuwenhuijs, A., Luijck, E., Klaver, M., Papa, M., Sheno, S. (Eds.) (2008). Modeling Dependencies In Critical Infrastructures. *Critical Infrastructure Protection II: Proceedings of the Second Annual IFIP Working Group 11.10 International Conference on Critical Infrastructure Protection*. IFIP. Heidelberg: Springer, 290, 205–213. doi: http://doi.org/10.1007/978-0-387-88523-0_15
 40. Rosato, V., Issacharoff, L., Tiriticco, F., Meloni, S., Porcellinis, S. D., Setola, R. (2008). Modelling interdependent infrastructures using interacting dynamical models. *International Journal of Critical Infrastructures*, 4 (1/2), 63–79. doi: <http://doi.org/10.1504/ij-cis.2008.016092>
 41. Panzari, S., Setola, R. (2008). Failures propagation in critical interdependent infrastructures. *International Journal of Modelling, Identification and Control*, 3 (1), 69–78. doi: <http://doi.org/10.1504/ijmic.2008.018186>
 42. Oliva, G., Panzari, S., Setola, R. (2010). Agent-based input-output interdependency model. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 3(2), 76–82. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ijcip.2010.05.001>
 43. Rinaldi, S. M. (2004). Modeling and Simulating Critical Infrastructures and Their Interdependencies. *Proceedings of the 37th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS 2004)*. Big Island: IEEE Computer Society Press, 1–8. doi: <http://doi.org/10.1109/hicss.2004.1265180>
 44. Forrester, J. W. (1961). *Industrial Dynamics*. Waltham: Pegasus Communications, 480.
 45. Forrester, J. W. (1961). *Principles of Systems*. Waltham: Pegasus Communications.
 46. Gonzalez, J. J., Sarriegi, J. M., Gurrutxaga, A., Lopez, J. (Ed.). *A Framework for Conceptualizing Social Engineering Attacks. CRITIS 2006. LNCS*. Heidelberg: Springer, 4347, 79–90. doi: http://doi.org/10.1007/11962977_7
 47. Sarriegi, J. M., Santos, J., Torres, J. M., Imizcoz, D., Egozcue, E., Liberal, D., Lopez, J., Hammerli, B. M. (Eds.) (2008). Modeling and Simulating Information Security Management. *CRITIS 2007. LNCS*. Heidelberg: Springer, 5141, 327–336. doi: http://doi.org/10.1007/978-3-540-89173-4_27
 48. Pasqualini, D., Witkowski, M. S., Klare, P. C., Patelli, P., Cleland, C. A., Grobler, A., Rouwette, E. A. J. A., Langer, R. S., Rowe, J. I., Yanni, J. M. (Eds.) (2006). A Model for a Water Potable Distribution System and its Impacts resulting from a Water Contamination Scenario. *Proceedings of the 24th International Conference of the System Dynamics Society*. Nijmegen: Wiley, 99–100.
 49. Bush, B. B., Dauelsberg, L. R., LeClaire, R. J., Powell, D. R., DeLand, S. M., Samsa, M. E. (2005). *Critical Infrastructure Protection Decision Support System (CIP/DSS) Project Overview*. Tech. Rep. LA-UR-05-1870. Los Alamos: Los Alamos National Laboratory.
 50. LeClaire, R., Bush, B., Dauelsberg, L., Powell, D., Sterman, J. D., Repenning, N. P., Langer, R. S., Rowe, J. I., Yanni, J. M. (Eds.) (2005). *Critical Infrastructure Protection Decision Support System*. Proceedings of the 23rd International Conference of the System Dynamics Society. Boston: System Dynamics Society, 97.
 51. Dauelsberg, L., Outkin, A., Sterman, J. D., Repenning, N. P., Langer, R. S., Rowe, J. I., Yanni, J. M. (Eds.) (2005). Modeling Economic Impacts to Critical Infrastructures in a System Dynamics Framework. *Proceedings of the 23rd International Conference of the System Dynamics Society*. Boston: System Dynamics Society, 63.
 52. LeClaire, R., O'Reilly, G., Sterman, J. D., Repenning, N. P., Langer, R. S., Rowe, J. I., Yanni, J. M. (Eds.) (2005). Leveraging a High Fidelity Switched Network Model to Inform a System Dynamics Model of the Telecommunications Infrastructure. *Proceedings of the 23rd International Conference of the System Dynamics Society*. Boston: System Dynamics Society, 97.
 53. Min, H.-S. J., Beyeler, W., Brown, T., Son, Y. J., Jones, A. T. (2007). Toward modeling and simulation of critical national infrastructure interdependencies. *IIE Transactions*, 39 (1), 57–71. doi: <http://doi.org/10.1080/07408170600940005>
 54. United States Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, Computer Systems Laboratory: *Integration Definition for Function Modeling (IDEF0)* (1993). United States Draft Federal Information Standard, 183.
 55. Berard, C. (2010). Group Model Building Using System Dynamics: An Analysis of Methodological Frameworks. *Electronic Journal of Business Research Methods*, 8 (1), 35–45.
 56. Hernantes, J., Lauge, A., Labaka, L., Rich, E. H., Sveen, F. O., Sarriegi, J. M. et. al. (2011). Collaborative Modeling of Awareness in Critical Infrastructure Protection. *Proceedings of the 44th Hawaii International Conference on Systems Science (HICSS-44 2011)*. Koloa: IEEE Press. doi: <http://doi.org/10.1109/hicss.2011.113>
 57. Bier, V. M., Ferson, S., Haimes, Y. Y., Lambert, J. H., Small, M. J. (2004). Risk of Extreme and Rare Events: Lessons from a Selection of Approaches. *Risk Analysis and Society: An Interdisciplinary Characterization of the Field*. Cambridge: Cambridge University Press, 74–118. doi: <http://doi.org/10.1017/cbo9780511814662.004>
 58. Bier, V. M. (2001). Game Theoretic Models for Critical Infrastructure Protection. *Risk Analysis in an Interconnected World*.
 59. von Neumann, J., Morgenstern, O. (1947). *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton: Princeton University Press.
 60. Fudenberg, D., Tirole, J. (1991). *Game Theory*. Cambridge: MIT Press.
 61. Osborne, M. J., Rubinstein, A. (1994). *A Course in Game Theory*. Cambridge: MIT Press.
 62. Branzel, R., Dimitrov, D., Tijs, S. (2008). *Models in Cooperative Game Theory*. Heidelberg: Springer. doi: <http://doi.org/10.1007/978-3-540-77954-4>
 63. Haywood, O. G. (1954). Military Decision and Game Theory. *Journal of the Operations Research Society of America*, 2(4), 365–385. doi: <http://doi.org/10.1287/opre.2.4.365>
 64. Hamilton, T., Mesic, R. (2004). A Simple Game-Theoretic Approach to Suppression of Enemy Defenses and Other Time Critical Target Analyses. Santa Monica. doi: <http://doi.org/10.7249/rb108>
 65. Brams, S., Kilgour, M. D. (1988). *Game Theory and National Security*. Oxford: Basil Blackwell, 199.
 66. Burke, D.A. (1999). Towards a Game Theory Model of Information Warfare. Air Force Institute of Technology, Wright-Patterson Air Force Base.
 67. Major, J. A. (2002). Advanced Techniques for Modeling Terrorism Risk. *The Journal of Risk Finance*, 4 (1), 15–24. doi: <http://doi.org/10.1108/eb022950>

68. Sandler, T., Arce, D. G. (2003). Terrorism & Game Theory. *Simulation & Gaming*, 34 (3), 319–337. doi: <http://doi.org/10.1177/1046878103255492>
69. Sandler, T., Siqueira, K. (2008). Games and Terrorism. *Simulation & Gaming*, 40 (2), 164–192. doi: <http://doi.org/10.1177/1046878108314772>
70. Liu, D., Wang, X., Camp, J. (2008). Game-theoretic modeling and analysis of insider threats. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 1, 75–80. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ijcip.2008.08.001>
71. Jenelius, E., Westin, J., Holmgren, Å. J. (2010). Critical infrastructure protection under imperfect attacker perception. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 3 (1), 16–26. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ijcip.2009.10.002>
72. Yoshida, M., Kobayashi, K. (2010). Disclosure Strategies for Critical Infrastructure against Terror Attacks. *Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Systems Man and Cybernetics (SMC 2010)*. Istanbul: IEEE Press, 3194–3199. doi: <http://doi.org/10.1109/icsmc.2010.5642277>
73. Lakdawalla, D.N., Zanjani, G. (2004). Insurance, Self-Protection, and the Economics of Terrorism. Tech. Rep. WR-171-ICJ, RAND Corporation. Santa Monica.
74. Woo, G. (2002). Quantitative Terrorism Risk Assessment. *The Journal of Risk Finance*, 4 (1), 7–14. doi: <http://doi.org/10.1108/eb022949>
75. Bier, V., Oliveros, S., Samuelson, L. (2007). Choosing What to Protect: Strategic Defensive Allocation against an Unknown Attacker. *Journal of Public Economic Theory*, 9 (4), 563–587. doi: <http://doi.org/10.1111/j.1467-9779.2007.00320.x>
76. Bollobás, B. (1998). *Modern Graph Theory*. Graduate Texts in Mathematics. Vol. 184. Berlin: Springer.
77. Bollobás, B., Kozma, R., Mikló's, D. (Eds.) (2008). *Handbook of Large-Scale Random Networks*. Bolyai Society Mathematical Studies. Vol. 18. Budapest: Ja'nos Bolyai Mathematical Society and Springer. doi: <http://doi.org/10.1007/978-3-540-69395-6>
78. Barabási, A.-L., Albert, R. (1999). Emergence of Scaling in Random Networks. *Science*, 286 (5439), 509–512. doi: <http://doi.org/10.1126/science.286.5439.509>
79. Albert, R., Barabási, A.-L. (2002). Statistical mechanics of complex networks. *Reviews of Modern Physics*, 74 (1), 47–97. doi: <http://doi.org/10.1103/revmodphys.74.47>
80. Newman, M. E. J. (2003). The Structure and Function of Complex Networks. *SIAM Review*, 45 (2), 167–256. doi: <http://doi.org/10.1137/s003614450342480>
81. Newman, M., Barabási, A. L., Watts, D. J. (Eds.) (2006). *The Structure and Dynamics of Networks*. Princeton Studies in Complexity. Princeton: Princeton University Press, 592.
82. Flaxman, A. D., Frieze, A. M., Vera, J. (2007). Adversarial Deletion in a Scale-Free Random Graph Process. *Combinatorics, Probability and Computing*, 16 (2), 261–270. doi: <http://doi.org/10.1017/s0963548306007681>
83. Albert, R., Jeong, H., Barabási, A.-L. (2000). Error and attack tolerance of complex networks. *Nature*, 406 (6794), 378–382. doi: <http://doi.org/10.1038/35019019>
84. Cohen, R., Erez, K., ben-Avraham, D., Havlin, S. (2001). Breakdown of the Internet under Intentional Attack. *Physical Review Letters*, 86 (16), 3682–3685. doi: <http://doi.org/10.1103/physrevlett.86.3682>
85. Motter, A. E., Lai, Y.-C. (2002). Cascade-based attacks on complex networks. *Physical Review E*, 66 (6), 378–382. doi: <http://doi.org/10.1103/physreve.66.065102>
86. Wang, X., Guan, S., Heng Lai, C. (2009). Protecting infrastructure networks from cost-based attacks. *New Journal of Physics*, 11 (3), 033006. doi: <http://doi.org/10.1088/1367-2630/11/3/033006>
87. Borgatti, S. P. (2005). Centrality and network flow. *Social Networks*, 27 (1), 55–71. doi: <http://doi.org/10.1016/j.socnet.2004.11.008>
88. Barton, D. C., Stamber, K. L. (2000). An Agent-Based Microsimulation of Critical Infrastructure Systems. Tech. Rep. SAND2000-0808C. Sandia National Laboratories. Albuquerque.
89. North, M.; Sallach, D., Wolsko, T. (Eds.) (2000). *Agent-Based Modeling of Complex Infrastructures*. Proceedings of the Workshop on Simulation of Social Agents: Architectures and Institutions. ANL/DIS/TM-60. Chicago: University of Chicago and Argonne National Laboratory, 239–250.
90. Panzieri, S., Setola, R., Ulivi, G. (2004). An Agent Based Simulator for Critical Interdependent Infrastructures. *Proceedings of the 2nd International Conference on Critical Infrastructures (CRIS 2004)*. Grenoble.
91. Balducelli, C., Bologna, S., Pietro, A. D., Vicoli, G. (2005). Analysing interdependencies of critical infrastructures using agent discrete event simulation. *International Journal of Emergency Management*, 2 (4), 306–318. doi: <http://doi.org/10.1504/ijem.2005.008742>
92. Porcellinis, S. D., Setola, R., Panzieri, S., Ulivi, G. (2008). Simulation of heterogeneous and interdependent critical infrastructures. *International Journal of Critical Infrastructures*, 4 (1/2), 110–128. doi: <http://doi.org/10.1504/ijcis.2008.016095>
93. Dudenhofer, D. D., Permann, M. R., Manic, M. (2006). CIMS: A Framework for Infrastructure Interdependency Modeling and Analysis. *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference (WSC 2006)*. Phoenix: IEEE Press, 478. doi: <http://doi.org/10.1109/wsc.2006.323119>
94. Dudenhofer, D. D., Permann, M. R., Sussman, E. M. (2002). A Parallel Simulation Framework for Infrastructure Modeling and Analysis. *Proceedings of the 34th Winter Simulation Conference (WSC 2002)*. San Diego: IEEE Press, 1971. doi: <http://doi.org/10.1109/wsc.2002.1166498>
95. Zhu, G.-Y., Henson, M. A., Megan, L. (2001). Dynamic modeling and linear model predictive control of gas pipeline networks. *Journal of Process Control*, 11 (2), 129–148. doi: [http://doi.org/10.1016/s0959-1524\(00\)00044-5](http://doi.org/10.1016/s0959-1524(00)00044-5)
96. Han, Z. Y., Weng, W. G. (2010). An integrated quantitative risk analysis method for natural gas pipeline network. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 23 (3), 428–436. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jlp.2010.02.003>
97. Wolthusen, S. D. (2005). GIS-based Command and Control Infrastructure for Critical Infrastructure Protection. *Proceedings of the First IEEE International Workshop on Critical Infrastructure Protection (IWCIP 2005)*, 40–47. doi: <http://doi.org/10.1109/iwcip.2005.12>
98. Patterson, S. A., Apostolakis, G. E. (2007). Identification of critical locations across multiple infrastructures for terrorist actions. *Reliability Engineering & System Safety*, 92 (9), 1183–1203. doi: <http://doi.org/10.1016/j.res.2006.08.004>
99. Yevseev, S., Korolyov, R., Tkachov, A., Laptiev, O., Opirskyy, I., Soloviova, O. (2020). Modification of the algorithm (OFM) S-box, which provides increasing crypto resistance in the post-quantum period. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9(5), 8725–8729. doi:10.30534/ijatcse/2020/261952020
100. Barabash, O., Laptiev, O., Kovtun, O., Leshchenko, O., Dukhnovska, K., Biehun, A. (2020). The Method dynamic TF-IDF. *Internationa*

- tional Journal of Emerging Trends in Engineering Research, 8 (9), 5712–5718. doi: <http://doi.org/10.30534/ijeter/2020/130892020>
102. Barabash, O., Laptiev, O., Tkachev, V., Maystrov, O., Krasikov, O., Polovinkin, I. (2020). The Indirect method of obtaining Estimates of the Parameters of Radio Signals of covert means of obtaining Information. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8 (8), 4133–4139. doi: <http://doi.org/10.30534/ijeter/2020/17882020>
103. Savchenko, V., Ilin, O., Hnidenko, N., Tkachenko, O., Laptiev, O., Lehominova, S. (2020). Detection of Slow DDoS Attacks based on User's Behavior Forecasting. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8 (5), 2019–2025. doi: <http://doi.org/10.30534/ijeter/2020/90852020>
104. Berkman, L., Barabash, O., Tkachenko, O., Musienko, A., Laptiev, O., Salanda, I. (2020). The Intelligent Control System for infocommunication networks. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8 (5), 1920–1925. doi: <http://doi.org/10.30534/ijeter/2020/73852020>
105. Laptiev, O., Shuklin, G., Hohonianc, S., Zidan, A., Salanda, I. (2019). Dynamic model of Ceber Defence Diagnostics of information Systems with the Use of Fozzy Technologies IEEE ATIT 2019 Conference Proceedings. Kyiv, 116–120. doi: <http://doi.org/10.1109/atit49449.2019.9030465>
106. Laptiev, O., Stefurak, O., Polovinkin, I., Barabash, O., Savchenko, V., Zelikovska, O. (2020). The method of improving the signal detection quality by accounting for interference. 2020 IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (IEEE ATIT 2020) Conference Proceedings. Kyiv, 172–176.
107. Laptiev, O., Savchenko, V., Yevseiev, S., Haidur, H., Gakhov, S., Hohoniants, S. (2020). The new method for detecting signals of means of covert obtaining information. 2020 IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (IEEE ATIT 2020) Conference Proceedings. Kyiv, 176–181.
108. Sobchuk, V., Pichkur, V., Barabash, O., Laptiev, O., Kovalchuk, I., Zidan, A. (2020). Algorithm of control of functionally stable manufacturing processes of enterprises. 2020 IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (IEEE ATIT 2020) Conference Proceedings. Kyiv, 206–211.
109. Savchenko, V., Laptiev, O., Kolos, O., Lisnevskiy, R., Ivannikova, V., Ablazov, I. (2020). Hidden Transmitter Localization Accuracy Model Based on Multi-Position Range Measurement. 2020 IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (IEEE ATIT 2020) Conference Proceedings Kyiv, 246–251.
110. Yevseiev, S., Ponomarenko, V., Ponomarenko, V., Rayevnyeva, O., Rayevnyeva, O. (2017). Assessment of functional efficiency of a corporate scientific-educational network based on the comprehensive indicators of quality of service. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (2 (90)), 4–15. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.118329>
111. Yevseiev, S., Tsyhanenko, O., Ivanchenko, S., Alekseyev, V., Verheles, D., Volkov, S. et. al. (2018). Practical implementation of the Niederreiter modified cryptocode system on truncated elliptic codes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (4 (96)), 24–31. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.150903>
112. Yevseiev, S., Tsyhanenko, O., Gavrilo, A., Guzhva, V., Milov, O., Moskalenko, V. et. al. (2019). Development of Niederreiter hybrid crypto-code structure on flawed codes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (9 (97)), 27–38. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.156620>
113. Tsyhanenko, O., Yevseiev, S., Milevskiy, S. (2019). Using the Flawed Codes In Niederreiter Crypto-Code Structure. Short Paper Proceedings of the 1st International Conference on Intellectual Systems and Information Technologies (ISIT 2019). Odessa, 17–19.
114. Yevseiev, S., Kots, H., Minukhin, S., Korol, O., Kholodkova, A. (2017). The development of the method of multifactor authentication based on hybrid cryptocode constructions on defective codes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (89)), 19–35. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109879>
115. Yevseiev, S., Korol, O., Kots, H. (2017). Construction of hybrid security systems based on the crypto-code structures and flawed codes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (88)), 4–21. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.108461>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.231225

MODELING OF THE PROCESS APPROACH TO THE LIFE CYCLE OF MEASURING INSTRUMENTS (p. 84–93)

Oleh Velychko

Scientific and Production Institute of Electromagnetic Measurements
State Enterprise “All-Ukrainian State Scientific and Production Centre for Standardization, Metrology, Certification and Protection of Consumer” (SE “Ukrmetrteststandard”), Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6564-4144>

Oleh Hrabovskiy

State University of Intellectual Technologies and Communications,
Odessa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7134-3682>

Tetyana Gordiyenko

State University of Intellectual Technologies and Communications,
Odessa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0324-9672>

Serhii Volkov

State University of Intellectual Technologies and Communications,
Odessa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6559-5290>

The problem of increasing the reliability and competitiveness of products in all sectors of the national economy can be solved only on the basis of obtaining complete and reliable measurement information. This is facilitated by modern measuring instruments (MI), which are complex hardware and software systems. The relevance of the study is due to the fact that modern MI need an effective assessment of their quality at all stages of the life cycle (LC). This requires the development of appropriate assessment methods both at the stage of production and operation of MI.

The expediency of using the process approach to MI LC stages and its advantages over the functional approach were proved. The process approach allows more effective assessment of MI quality indicators at different LC stages and is compatible with the construction of modern quality management systems.

Mathematical modeling was carried out, a set process model of the MI LC was developed and its representation as a process V-model was carried out. This allows studying the interaction of processes of all MI LC stages and performing process quality management at all MI LC stages.

Mathematical modeling was carried out, a set process model of evaluation of quality indicators of MI LC stages was developed and its representation as a process V-model was carried out. This allows evaluating quality indicators of the MI and its components throughout the MI LC.

Recommendations for the use of international standards were formulated, in particular for project management planning, mea-

surement processes, system requirements throughout the MI LC, risk analysis and management at the LC stages. This should help increase efficiency in achieving the planned results at all stages of the MI LC.

Keywords: process approach, life cycle, quality system, measuring instrument, set model.

References

- Adizes, I. K. (2014). *Managing Corporate Lifecycles*. Moscow: Mann, Ivanov i Ferber, 512.
- Sokolovskiy, S. A., Pavlov, S. P., Cherkashyna, M. V., Naumenko, M. O., Hrabovskiy, Ye. M. (2015). *Upravlinnia yakistiu vyrobnytstva ta obluhovuvannya*. Kharkiv: NANHU, 264.
- Biletskyi, E. V., Yanushkevych, D. A., Shaikhislamov, Z. R. (2015). *Upravlinnia yakistiu produktsiyi ta posluh*. Kharkiv: KhTEI, 222.
- Kalycheva, N. Ye., Bokhan, S. Ye. (2017). *Napriamy zabezpechennia efektyvnoho rozvytku promyslovykh pidpryemstv v suchasnykh umovakh*. *Naukovyi ohliad*, 5 (37), 5–15.
- ISO/IEC/IEEE 15288:2015. *Systems and software engineering. System life cycle processes (2015)*. ISO, 108.
- ISO/IEC/IEEE 24748-1:2018. *Systems and software engineering. Life cycle management. Part 1: Guidelines for life cycle management (2018)*. ISO, 72.
- ISO/IEC/IEEE 24748-2:2018. *Systems and software engineering. Life cycle management. Part 2: Guidelines for the application of ISO/IEC/IEEE 15288 (System life cycle processes) (2018)*. ISO, 64.
- ISO/IEC TR 24774:2010. *Systems and software engineering. Life cycle management. Guidelines for process description (2010)*. ISO, 15.
- ISO 9000:2015. *Quality management systems. Fundamentals and vocabulary (2015)*. ISO, 51.
- ISO 9001:2015. *Quality management systems. Requirements (2015)*. ISO, 29.
- Directive 2014/32/EU of the European Parliament and of the Council on the harmonisation of the laws of the Member States relating to the making available on the market of measuring instruments (recast). *Official Journal of the European Union* (2014). L96/149. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32014L0032>
- ISO/IEC/IEEE 12207:2017. *Systems and software engineering. Software life cycle processes (2017)*. ISO, 145.
- ISO/IEC/IEEE 24748-3:2020. *Systems and software engineering. Life cycle management. Part 3: Guidelines for the application of ISO/IEC/IEEE 12207 (software life cycle processes) (2020)*. ISO, 66.
- Lisovodskaya, K., Shadrin, A. (2019). *Protsessnyi podhod v menedzhmente proektov Agile-kompanii*. *Standarty i kachestvo*, 9, 76–80.
- Velychko, O., Gordiyenko, T., Hrabovskiy, O. (2018). *Testing of measurement instrument software on the national level*. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (92)), 13–20. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.125994>
- Velychko, O., Gaman, V., Gordiyenko, T., Hrabovskiy, O. (2019). *Testing of measurement instrument software with the purpose of conformity assessment*. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (9 (97)), 19–26. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.154352>
- Shadrin, A. D. (2016). *Sistemnaya inzheneriya v menedzhmente kachestva predpriyatiya*. *Standarty i kachestvo*, 1, 58–61.
- Borysova, L. E. (2015). *Process – functional approach in system management of modern telecommunication company*. *Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnogo universytetu*. Ser.: *Ekonomichni nauky*, 11 (2), 55–59.
- Novikova, O., Shadrin, A. (2014). *Protsessnyi podhod v energeticheskom menedzhmente*. *Standarty i kachestvo*, 8, 70–73.
- Kalmykov, A. V. (2012). *Upravlenie proektami informatsionnyh sistem na osnove dual-V modeli*. *Radioelektronni i kompiuterni systemy*, 4, 193–200.
- Volkov, S. L., Kyselova, O. I. (2017). *Dual-v protsesna model yakosti shtuchnoho ob'ektu*. *Metrolohiya ta prylady*, 6, 62–65.
- Velychko, O. M., Hrabovskiy, O. V., Gordiyenko, T. B. (2019). *Features of application of V-model in development and estimation of measuring instruments software*. *Collection of scientific works of the Odesa State Academy of Technical Regulation and Quality*, 1 (14), 6–11. doi: <https://doi.org/10.32684/2412-5288-2019-1-14-6-11>
- Graessler, I., Hentze, J., Poehler, A. (2019). *Self-organizing production systems: Implications for product design*. *Procedia CIRP*, 79, 546–550. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.02.092>
- Graessler, I., Hentze, J., Bruckmann, T. (2018). *V-models for interdisciplinary systems engineering*. *Proceedings of the DESIGN 2018 15th International Design Conference*. doi: <https://doi.org/10.21278/idc.2018.0333>
- VDI 2206:2004. *Design methodology for mechatronic systems. Guideline*. The Association of German Engineers (VDI), Düsseldorf, 2004. 118 p.
- Gräßler, I., Hentze, J., Yang, X. (2016). *Eleven Potentials for Mechatronic V-Model*. *Proceedings of the 6th International Conference on Production Engineering and Management*, 257–268.
- Graessler, I. (2017). *A new V-Model for interdisciplinary product engineering*. *59th Ilmenau Scientific Colloquium*. Technische Universität Ilmenau.
- Graessler, I., Dattner, M., Bothen, M. (2018). *Main Feature List as core success criteria of organizing Requirements Elicitation*. *R&D Management Conference 2018 “R&Designing Innovation: Transformational Challenges for Organizations and Society”*, 16. doi: <https://doi.org/10.31224/osf.io/grfcn>
- Gräßler, I., Hentze, J. (2015). *A V-model based comparison of Systems Engineering approaches*. *Proceedings of ECEC 2015/the 22nd European Concurrent Engineering Conference*. Lisbon.
- Stephens, K. S. (Eds.) (2004). *Juran, Quality, and a Century of Improvement: The Best on Quality Book Series of the International Academy for Quality*. Vol. 15. ASQ Quality Press, 304.
- Volkov, S. L., Vavilov, E. V., Kolomiets, S. V. (2017). *System model of process of the life cycle of artificial systems*. *Collection of scientific works of the Odesa State Academy of Technical Regulation and Quality*, 1 (10), 84–87. doi: <https://doi.org/10.32684/2412-5288-2017-1-10-84-87>
- ISO/IEC 25010:2011. *Systems and software engineering. Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – System and software quality models (2011)*. ISO, 34.
- ISO/IEC 25012:2008. *Software engineering. Software product Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE). Data quality model (2008)*. ISO, 13.
- ISO/IEC 25020:2019. *Systems and software engineering. Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE). Quality measurement framework (2019)*. ISO, 27.
- ISO/IEC 25021:2012. *Systems and software engineering. Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE). Quality measure elements (2012)*. ISO, 37.
- ISO/IEC 25030:2019. *Systems and software engineering. Systems and software quality requirements and evaluation (SQuaRE). Quality requirements framework (2019)*. ISO, 46.
- Skopa, A., Volkov, S., Grabowski, O. (2013). *Quality indicators and life cycles of protected information-measuring systems*. *Visnyk*

Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia, 15 (1), 192–198.

38. ISO/IEC/IEEE 16326:2019. Systems and software engineering. Life cycle processes. Project management (2019). ISO, 29.
39. ISO/IEC/IEEE 15939:2017. Systems and software engineering. Measurement process (2017). ISO, 39.
40. ISO/IEC/IEEE 29148:2018. Systems and software engineering. Life cycle processes. Requirements engineering (2018). ISO, 92.
41. ISO 31000:2018. Risk management. Guidelines (2018). ISO, 16.
42. ISO/IEC/IEEE 16085:2021. Systems and software engineering. Life cycle processes. Risk management (2021). ISO, 47.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.235835

SYNTHESIS OF A DEVICE FOR ANTI-JAMMING RECEPTION OF SIGNALS OF TONAL RAIL CIRCUITS ON THE BACKGROUND OF ADDITIVE FIVE-COMPONENT INTERFERENCE (p. 94–102)

Sergii Panchenko

Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7626-9933>

Olha Ananieva

Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6686-8249>

Mykhailo Babaiev

Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3553-8786>

Davidenko Mykhailo

Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7255-3059>

Panchenko Vladyslav

Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4822-7151>

An optimal receiving device for information signals of tonal rail circuits has been synthesized. The signals are observed against the background of an additive five-component interference. The first component of the interference is broadband Gaussian noise. The other four components of the interference are structurally determined: single impulse interference, interference from an adjacent tonal rail circuit, and multiharmonic interference from alternating traction current combined with the power line and from the locomotive traction converter. The presence of a complex of interference leads to errors in decision-making regarding the regulation of train traffic. This puts the participants in this movement before the danger of threatening emergencies. Therefore, it is necessary to develop and study means of noise-immune reception of information signals and the formation of dispatch decisions. The decision on the presence or absence of a signal is made by comparing two values of the mean square of the approximation error. This error is understood as the difference between the input voltage of the receiver and the sum of the signal with structurally determined interference. The first value of the error is calculated assuming the presence of a signal in a mixture with structurally determined noise. The second error value is calculated on the assumption that there is no signal in this mixture. The noise component is assumed to be present in both cases. The solution corresponds to a channel with a lower mean squared error. The block diagram of the device is presented. Analytically, it has been shown that the average value of the error in recognizing situations of presence or absence of a signal is two orders of magnitude less than the admissible value according to regula-

tory requirements. High noise immunity of the developed device will improve the safety of train traffic.

Keywords: structurally determined interference, likelihood ratio, optimal signal discrimination, train traffic control.

References

1. Ananieva, O., Babaiev, M., Blyndiuk, V., Davidenko, M. (2017). Design of a device for optimal reception of signals against the background of a two-component Markov interference. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(9 (90)), 4–9. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.118869>
2. Yoshizawa, S., Tanimoto, H., Saito, T. (2017). Data Selective Rake Reception for Underwater Acoustic Communication in Strong Multipath Interference. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2017, 1–9. doi: <http://doi.org/10.1155/2017/5793507>
3. Djukanovic, S., Popovic, V. (2012). A Parametric Method for Multi-component Interference Suppression in Noise Radars. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 48 (3), 2730–2738. doi: <http://doi.org/10.1109/taes.2012.6237624>
4. Zhenhua, L., Hongbo, L., Wenyuan, X., Yingying, C. (2014). An Error-Minimizing Framework for Localizing Jammers in Wireless Networks. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 25 (2), 508–517. doi: <http://doi.org/10.1109/tpds.2013.33>
5. Ananieva, O., Babaiev, M., Blyndiuk, V., Davidenko, M. (2019). Development of a device for the optimal reception of signals against the background of an additive three-component interference. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (98)), 6–13. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.159310>
6. Galev, A. V., Kosolapov, A. S. (2012). 77-30569/400050 Research of influence of smart jamming on error probability of direct-sequence spread-spectrum systems at coherent reception. *Science and education*, 4. Available at: <http://technomag.edu.ru/doc/400050.html>
7. Torres, J., Hernandez, F., Habermann, J. (2014). Digital Demodulator for BFSK Waveform Based Upon Correlator and Differentiator Systems. *Radioengineering*, 23 (4), 1161–1168.
8. Liu, W., Chen, R., Cai, H., Luo, W., Revil, A. (2017). Correlation analysis for spread-spectrum induced-polarization signal processing in electromagnetically noisy environments. *GEOPHYSICS*, 82 (5), E243–E256. doi: <http://doi.org/10.1190/geo2016-0109.1>
9. Ouyang, X., Luo, L., Xiong, J. (2012). Time Delay Estimation Using Windowed Differential magnitude of Cross Correlation and Its Hilbert Transform. *Procedia Engineering*, 29, 2033–2038. doi: <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.257>
10. Kandar, D., Guchhait, A., Adikari, A. et. al. (2013). Clutter rejection in outdoor radar operation by correlation method for known target. *Journal of Information Systems and Communication*, 3 (1), 332–334.
11. Goncharov, K. V. (2013). Synthesis of digital locomotive receiver of automatic locomotive signaling. *Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 1(43), 30–38. doi: <http://doi.org/10.15802/stp2013/9577>
12. Ananieva, O., Babaiev, M., Davidenko, M., Panchenko, V. (2021). Optimum reception of information signals in the conditions of action of the five-component interference. *Information and control systems at railway transport*, 1, 24–29.
13. Ananieva, O. M., Babaiev, M. M., Blyndiuk, V. S., Davidenko, M. H. (2020). Mathematical model of mix of signal and multicomponent interference on entrance of track devices of tonal rail chains. *Information and control systems at railway transport*, 2, 3–7. doi: <http://doi.org/10.18664/ikszt.v25i2.206825>
14. Zhiglyavskiy, A. A., Zhilinskas, A. G. (1991). *Metody poiska global'nogo ekstremuma*. Moscow: Nauka, 248.

15. Falkovich, S. E., Khomyakov, E. N. (1981). *Statisticheskaya teoriya izmeritelnykh radiosistem*. Moscow: Radio i svyaz, 288.
16. Kay, S. M., Marple, S. L. (1981). Spectrum analysis – A modern perspective. *Proceedings of the IEEE*, 69 (11), 1380–1419. doi: <http://doi.org/10.1109/proc.1981.12184>
17. McClellan, J. H., Rader, C. M. (1979). *Number Theory in Digital Signal Processing*. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 264.
18. Novoseltseva, M. A. (2010). Detection of hidden periodicities of noisy signals by means of model of structural function in the form of continued fraction. *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta*, 4 (44), 79–83.
19. Puech, T., Boussard, M., D'Amato, A., Millerand, G., Lemaire, V., Malinowski, S., Bagnall, A., Bondu, A., Guyet, T., Tavenard, R. (Eds.) (2020). *A Fully Automated Periodicity Detection in Time Series*. *Lecture Notes in Computer Science*. Cham: Springer, 43–54. doi: http://doi.org/10.1007/978-3-030-39098-3_4
20. *Digital Signal Processors*. Texas Instruments. An Overview. Available at: <https://www.ti.com/microcontrollers-mcus-processors-processors/digital-signal-processors/overview.html>
21. Kulik, P. D., Ivakin, V. S., Udovikov, A. A. (2004). *Tonalnye relsovyte tsepi v sistemakh ZHAT: postroyeniye, regulirovka, obsluzhivaniye, poisk i ustraneniye neispravnostey, povysheniye ekspluatatsionnoy nadezhnosti*. Kyiv: Izdatelskiy dom «Manufaktura», 288.
22. Goryainov, V. T., Zhuravlev, A. G., Tikhonov, V. I. (1980). *Statisticheskaya radiotekhnika: primery i zadachi*. Moscow: Sovetskoe radio, 544.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.235521

DEVELOPMENT OF THE METHOD FOR ENCODING SERVICE DATA IN CRYPTOCOMPRESSION IMAGE REPRESENTATION SYSTEMS (p. 103–115)

Vladimir Barannik

V. N. Karazin Kharkiv National University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2848-4524>

Serhii Sidchenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1319-6263>

Natalia Barannik

National University of Civil Defence of Ukraine,
Kharkov, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6420-1838>

Valeriy Barannik

Kharkiv National University of Radio Electronics,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3516-5553>

The demand for image confidentiality is constantly growing. At the same time, ensuring the confidentiality of video information must be organized subject to ensuring its reliability with a given time delay in processing and transmission. Methods of cryptocompression representation of images can be used to solve this problem. They are designed to simultaneously provide compression and protection of video information. The service component is used as the key of the cryptocompression transformation. However, it has a significant volume. It is 25 % of the original video data volume. A method for coding systems of service components in a differentiated basis on the second cascade of cryptocompression representation of images has been developed. The

method is based on the developed scheme of data linearization from three-dimensional coordinates of representation in a two-dimensional matrix into a one-dimensional coordinate for one-to-one representation of this element in a vector. Linearization is organized horizontally line by line. On the basis of the developed method, a non-deterministic number of code values of information components is formed. They have non-deterministic lengths and are formed on a non-deterministic number of elements. The uncertainty of positioning of cryptocompression codograms in the general code stream is provided, which virtually eliminates the possibility of their unauthorized decryption. The method provides a reduction in the volume of the service component of the cryptocompression codogram. The service data volume is 6.25 % of the original video data volume. The method provides an additional reduction in the volume of cryptocompression representation of images without loss of information quality relative to the original video data on average from 1.08 to 1.54 times, depending on the degree of their saturation.

Keywords: cryptocompression, service component, information protection, floating scheme, differentiated basis, image.

References

1. Gonzalez, R., Woods, R. (2018). *Digital Image Processing*. Published by Pearson, 1168.
2. Salomon, D. (2007). *Data Compression: The Complete Reference*. Springer Science & Business Media, 1092.
3. Vatolin, D., Ratushnyak, A., Smirnov, M., Yukin, V. (2002). *Metody szhatiya dannyh. Ustroystvo arhivatorov, szhatie izobrazheniy i video*. Moscow, 384.
4. Wallace, G. K. (1991). The JPEG still picture compression standard. *Communications of the ACM*, 34 (4), 30–44. doi: <https://doi.org/10.1145/103085.103089>
5. *JPEG Privacy & Security Abstract and Executive Summary (2015)*. Available at: https://jpeg.org/items/20150910_privacy_security_summary.html
6. Barannik, V., Ryabukha, Y., Barannik, N., Barannik, D. (2020). Indirect Steganographic Embedding Method Based on Modifications of the Basis of the Polyadic System. 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET). doi: <https://doi.org/10.1109/tcset49122.2020.235522>
7. Dufaux, F., Ebrahimi, T. (2006). Toward a Secure JPEG. *Applications of Digital Image Processing XXIX*, 6312. doi: <https://doi.org/10.1117/12.686963>
8. Barannik, V. V., Karpinski, M. P., Tverdokhlebov, V. V., Barannik, D. V., Himenko, V. V., Aleksander, M. (2018). The technology of the video stream intensity controlling based on the bit-planes recombination. 2018 IEEE 4th International Symposium on Wireless Systems Within the International Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS-SWS). doi: <https://doi.org/10.1109/idaacs-sws.2018.8525560>
9. Gore, A., Gupta, S. (2015). Full reference image quality metrics for JPEG compressed images. *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, 69 (2), 604–608. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aeue.2014.09.002>
10. Sharma, R., Bollavarapu, S. (2015). Data Security using Compression and Cryptography Techniques. *International Journal of Computer Applications*, 117 (14), 15–18. doi: <https://doi.org/10.5120/20621-3342>
11. Belikova, T. (2020). Decoding Method of Information-Psychological Destructions in the Phonetic Space of Information Resources. 2020

- IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), 87–91. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9349300>
12. Barannik, V., Barannik, V., Havrylov, D., Sorokun, A. (2019). Development Second and Third Phase of the Selective Frame Processing Method. 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT). doi: <https://doi.org/10.1109/aiact.2019.8847897>
 13. Announcing the Advanced Encryption Standard (AES). Federal Information Processing Standards Publication 197 (2001). NIST, 51. Available at: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/FIPS/NIST.FIPS.197.pdf>
 14. DSTU 7624:2014. Informatsiyini tekhnolohiyi. Kryptohrafichnyi zakhyst informatsiyi. Alhorytm symetrychnoho blokovoho peretvorennia (2014). Kyiv, 39.
 15. DSTU HOST 28147:2009. Systema obrobky informatsiyi. Zakhyst kryptohrafichnyi. Alhorytm kryptohrafichnoho peretvorennia (HOST 28147-89) (2008). Kyiv, 20.
 16. Rivest, R. L., Shamir, A., Adleman, L. (1978). A method for obtaining digital signatures and public-key cryptosystems. *Communications of the ACM*, 21 (2), 120–126. doi: <https://doi.org/10.1145/359340.359342>
 17. Yuan, L., Korshunov, P., Ebrahimi, T. (2015). Secure JPEG scrambling enabling privacy in photo sharing. 2015 11th IEEE International Conference and Workshops on Automatic Face and Gesture Recognition (FG). doi: <https://doi.org/10.1109/fg.2015.7285022>
 18. Barannik, V., Belikova, T., Gurzhiy, P. (2019). The Model of Threats to Information and Psychological Security, Taking into Account the Hidden Information Destructive Impact on the Subconscious of Adolescents. 2019 IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT). doi: <https://doi.org/10.1109/atit49449.2019.9030432>
 19. Kurihara, K., Shiota, S., Kiya, H. (2015). An encryption-then-compression system for JPEG standard. 2015 Picture Coding Symposium (PCS). doi: <https://doi.org/10.1109/pcs.2015.7170059>
 20. Kurihara, K., Watanabe, O., Kiya, H. (2016). An encryption-then-compression system for JPEG XR standard. 2016 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB). doi: <https://doi.org/10.1109/bmsb.2016.7521997>
 21. Watanabe, O., Uchida, A., Fukuhara, T., Kiya, H. (2015). An Encryption-then-Compression system for JPEG 2000 standard. 2015 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). doi: <https://doi.org/10.1109/icassp.2015.7178165>
 22. Zhou, J., Liu, X., Au, O. C., Tang, Y. Y. (2014). Designing an Efficient Image Encryption-Then-Compression System via Prediction Error Clustering and Random Permutation. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 9 (1), 39–50. doi: <https://doi.org/10.1109/tifs.2013.2291625>
 23. Naor, M., Shamir, A. (1995). Visual cryptography. *Lecture Notes in Computer Science*, 1–12. doi: <https://doi.org/10.1007/bfb0053419>
 24. Chen, C.-C., Wu, W.-J. (2014). A secure Boolean-based multi-secret image sharing scheme. *Journal of Systems and Software*, 92, 107–114. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jss.2014.01.001>
 25. Chen, T.-H., Wu, C.-S. (2011). Efficient multi-secret image sharing based on Boolean operations. *Signal Processing*, 91 (1), 90–97. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2010.06.012>
 26. Deshmukh, M., Nain, N., Ahmed, M. (2016). An (n, n)-Multi Secret Image Sharing Scheme Using Boolean XOR and Modular Arithmetic. 2016 IEEE 30th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA). doi: <https://doi.org/10.1109/aina.2016.56>
 27. Yang, C.-N., Chen, C.-H., Cai, S.-R. (2016). Enhanced Boolean-based multi secret image sharing scheme. *Journal of Systems and Software*, 116, 22–34. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jss.2015.01.031>
 28. Ramakrishnan, S. (2019). *Cryptographic and Information Security. Approaches for Images and Videos*. CRC Press, 986. doi: <https://doi.org/10.1201/9780429435461>
 29. Wong, K.-W. (2009). Image Encryption Using Chaotic Maps. *Intelligent Computing Based on Chaos*, 333–354. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-540-95972-4_16
 30. Tsai, C.-L., Chen, C.-J., Hsu, W.-L. (2012). Multi-morphological image data hiding based on the application of Rubik's cubic algorithm. 2012 IEEE International Carnahan Conference on Security Technology (ICCSST). doi: <https://doi.org/10.1109/ccst.2012.6393548>
 31. Wu, Y., Aгаian, S., Noonan, J. (2012). Sudoku Associated Two Dimensional Bijections for Image Scrambling. *IEEE Transactions on multimedia*. Available at: <https://arxiv.org/abs/1207.5856v1>
 32. Cheng, P., Yang, H., Wei, P., Zhang, W. (2015). A fast image encryption algorithm based on chaotic map and lookup table. *Nonlinear Dynamics*, 79 (3), 2121–2131. doi: <https://doi.org/10.1007/s11071-014-1798-y>
 33. Information technology – JPEG 2000 image coding system – XML representation and reference. Available at: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-T.813-201206-I!!PDF-E&type=items
 34. Honda, T., Murakami, Y., Yanagihara, Y., Kumaki, T., Fujino, T. (2013). Hierarchical image-scrambling method with scramble-level controllability for privacy protection. 2013 IEEE 56th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS). doi: <https://doi.org/10.1109/mwscas.2013.6674911>
 35. Wong, K., Tanaka, K. (2010). DCT based scalable scrambling method with reversible data hiding functionality. 2010 4th International Symposium on Communications, Control and Signal Processing (ISCCSP). doi: <https://doi.org/10.1109/isccsp.2010.5463307>
 36. Ji, S., Tong, X., Zhang, M. (2012). Image encryption schemes for JPEG and GIF formats based on 3D baker with compound chaotic sequence generator. *arXiv.org*. Available at: <https://arxiv.org/abs/1208.0999>
 37. Phatak, A. G. (2016). A Non-format Compliant Scalable RSA-based JPEG Encryption Algorithm. *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing*, 8 (6), 64–71. doi: <https://doi.org/10.5815/ijigsp.2016.06.08>
 38. Auer, S., Bliem, A., Engel, D., Uhl, A., Unterwieser, A. (2013). Bitstream-Based JPEG Encryption in Real-time. *International Journal of Digital Crime and Forensics*, 5 (3), 1–14. doi: <https://doi.org/10.4018/jdcf.2013070101>
 39. Kobayashi, H., Kiya, H. (2018). Bitstream-Based JPEG Image Encryption with File-Size Preserving. 2018 IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE). doi: <https://doi.org/10.1109/gcce.2018.8574605>
 40. Minemura, K., Moayed, Z., Wong, K., Qi, X., Tanaka, K. (2012). JPEG image scrambling without expansion in bitstream size. 2012 19th IEEE International Conference on Image Processing. doi: <https://doi.org/10.1109/icip.2012.6466845>
 41. Alimpiev, A. N., Barannik, V. V., Sidchenko, S. A. (2017). The method of cryptocompression presentation of videoinformation resources in a generalized structurally positioned space. *Telecommunications and Radio Engineering*, 76 (6), 521–534. doi: <https://doi.org/10.1615/telecomradeng.v76.i6.60>
 42. Barannik, V., Sidchenko, S., Barannik, D. (2020). Technology for Protecting Video Information Resources in the Info-Communication Space. 2020 IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT). Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9349324>
 43. Barannik, V., Barannik, V. (2020). Binomial-Polyadic Binary Data Encoding by Quantity of Series of Ones. 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Tele-

communications and Computer Engineering (TCSET). doi: <https://doi.org/10.1109/tcset49122.2020.235540>

44. Barannik, V. V., Ryabukha, Y. N., Kulitsa, O. S. (2017). The method for improving security of the remote video information resource on the basis of intellectual processing of video frames in the telecommunication systems. *Telecommunications and Radio Engineering*, 76 (9), 785–797. doi: <https://doi.org/10.1615/telecomradeng.v76.i9.40>
45. Barannik, V., Tarasenko, D. (2017). Method coding efficiency segments for information technology processing video. 2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T). doi: <https://doi.org/10.1109/infocommst.2017.8246460>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.235609

DEVELOPMENT OF A MODEL OF A SUBSYSTEM FOR FORECASTING CHANGES IN DATA TRANSMISSION ROUTES IN SPECIAL PURPOSE MOBILE RADIO NETWORKS (p. 116–125)

Andriy Divitskyi

Institute of Special Communications and Information Protection of National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9261-9841>

Serhii Salnyk

Institute of Special Communications and Information Protection of National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4463-5705>

Vladyslav Hol

Institute of Special Communications and Information Protection of National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9995-9590>

Pavlo Sydorkin

Institute of Special Communications and Information Protection of National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2374-1402>

Anton Storchak

Institute of Special Communications and Information Protection of National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5267-3122>

This research addressed the issue of improving the quality of service for the control system of mobile radio networks. The analysis of the forecasting sphere concerning the methods of service quality of mobile radio networks for special purposes, in particular, forecasting the time of congestion of data transmission routes is carried out. It is found that these methods are used in wired and computer networks operating at the network and data link levels. The basic parameters of the protocols of the channel and network layers of mobile radio networks are highlighted. Forecasting methods are analyzed: temporal extrapolation, causality, expert, and the main disadvantages are indicated. A model of a control system for mobile radio networks with a forecasting subsystem is shown. The features of mobile radio networks, which form the requirements for routing methods, are described. A lot of requirements have been put forward for the model of a control system for mobile radio networks. The structure of a model of a control system for mobile radio networks with an improved forecasting subsystem is proposed. On the basis of genetic algorithms,

the tasks that arise in the process of identification, training and forecasting in the forecasting subsystem are solved. The operation of the processes consists in building a base of rules aimed at identifying significant dependencies in a time series based on the use of a genetic algorithm. It is based on the use of evolutionary principles to find the optimal solution. Application of the proposed model will allow real-time identification and will significantly improve the quality of service for mobile radio networks. It will increase the speed and volume of data processed during training, improve the quality and reliability of predicting changes in data transmission routes.

Keywords: radio network, data, control, forecasting, model, routing, congestion, identification, intellectualization, algorithm.

References

1. Desai, R. M., Patil, B. P., Sharma, D. P. (2017). Learning Based Route Management in Mobile Ad-Hoc Networks. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 7 (3), 718. doi: <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v7.i3.pp718-723>
2. Salnyk, S., Hol, V., Divicky, A. (2020). Analysis of methods of data flow management in mobile radio networks of special purpose. *Spetsialniy telekomunikatsiyni systemy ta zakhyst informatsiyi*, 1 (7), 41–51.
3. Salnik, V., Salnik, S., Lukina, K., Oleksenko, V. (2017). Analysis of methods of supporting decisions in automated military control management systems. *Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika*, 2 (50), 114–119.
4. Bovda, E. (2018). Model of the telecommunication network monitoring and forecasting with the use of urban neural networks. *Zbirnyk naukovykh prats VITI*, 1, 6–16.
5. Bagirov, S. R. (2017). Debatable questions of the ascertainment causal nexus and guilty in negligent mediated infliction a criminal consequence (by way of example Chilikov's and Maslov's case). *Visnyk asotsiatsiyi kryminalnoho prava Ukrainy*, 1 (8), 100–116.
6. Klymenko, N. I., Kalinina, I. V. (2019). Criminal And Expert Forecast: Issue Matters. *Scientific Journal of Public and Private Law*, 1 (1), 206–210. doi: <https://doi.org/10.32844/2618-1258.2019.1-1.35>
7. Goncharov, E. N., Leonov, V. V. (2017). Genetic algorithm for the resource-constrained project scheduling problem. *Automation and Remote Control*, 78 (6), 1101–1114. doi: <https://doi.org/10.1134/s0005117917060108>
8. Chauhan, D. V., Bhalani, D. K., Trivedi, I. N. (2018). Uluchshenny VBLAST MAP: noviy algoritm tochka-tochka dlya detektirovaniya simvolov v sistemah besprovodnoy svyazi MIMO. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Radioelektronika*, 61 (5), 259–266. doi: <https://doi.org/10.20535/s0021347018050023>
9. Vijayalakshmi, J., Prabu, K. (2018). Performance Analysis of Clustering Schemes in MANETs. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 808–813. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-03146-6_92
10. Sudhakar, T., Hannah Inbarani, H., Senthil Kumar, S. (2019). Route classification scheme based on covering rough set approach in mobile ad hoc network (CRS-MANET). *International Journal of Intelligent Unmanned Systems*, 8 (2), 85–96. doi: <https://doi.org/10.1108/ijius-08-2019-0046>
11. Horn, A. L., Friedrich, H. (2019). The Network Source Location Problem in the Context of Foodborne Disease Outbreaks. *Springer Proceedings in Complexity*, 151–165. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-14683-2_7
12. Periyasamy, J., Saravanan, R. (2018). Angle Based Energy and Power Efficient Node Detection Routing Protocol for MANET. *Recent Patents on Computer Science*, 11 (2), 134–142. doi: <https://doi.org/10.2174/2213275911666180817120638>

13. Dang, V. T., Huong, T. T., Thanh, N. H., Nam, P. N., Thanh, N. N., Marshall, A. (2018). SDN-Based SYN Proxy – A Solution to Enhance Performance of Attack Mitigation Under TCP SYN Flood. *The Computer Journal*, 62 (4), 518–534. doi: <https://doi.org/10.1093/comjnl/bxy117>
14. Tomar, S. S., Rawat, A., Vyavahare, P. D., Tokekar, S. (2020). Conceptual model for comparison of IPv6 ISPs based on IPv4 traffic profiles. *International Journal of Information Technology*, 12 (4), 1171–1182. doi: <https://doi.org/10.1007/s41870-020-00453-5>
15. Divicky, A., Borovyk, L., Salnyk, S., Hol, V. (2020). Analysis of methods for predicting changes in data transfer data in wireless self-organized networks. *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, 1 (63), 60–67. doi: <https://doi.org/10.30748/zhups.2020.63.08>
16. Akyildiz, I. F., Lee, W.-Y., Chowdhury, K. R. (2009). CRAHNs: Cognitive radio ad hoc networks. *Ad Hoc Networks*, 7 (5), 810–836. doi: <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2009.01.001>
17. Sa-Iz, E., Poler, R., Andres, B. (2018). Intelligent Decision-support Systems in Supply Chains: Requirements Identification. *Enterprise Interoperability*, 23–29. doi: <https://doi.org/10.1002/9781119564034.ch3>
18. Kononiuk, A. Yu. (2008). *Neironi merezhi i henetychni alhorytmy*. Kyiv: «Korniyuchuk», 446.
19. Israr, A., Kaleem, M., Nazir, S., Mirza, H. T., Huss, S. A. (2020). Nested genetic algorithm for highly reliable and efficient embedded system design. *Design Automation for Embedded Systems*, 24 (4), 185–221. doi: <https://doi.org/10.1007/s10617-020-09234-6>
20. Huliannytskyi, L. F. (2012). Development of forecasting methods on the basis of evolutionary algorithms. *Komp'yuternaya matematika*, 1, 69–77. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Koma_2012_1_10
21. Holland, J. H. (1984). Genetic Algorithms and Adaptation. *Adaptive Control of Ill-Defined Systems*, 317–333. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4684-8941-5_21

DOI: 10.15587/17294061.2021.235844

УЗАГАЛЬНЕННЯ ТЕОРЕМИ ВІДЛІКІВ НА ЧАСТОТНО-ЧАСОВУ ОБЛАСТЬ ДЛЯ ДИСКРЕТИЗАЦІЇ СИГНАЛІВ В УМОВАХ АПРІОРНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ (с. 6–15)

М. М. Каложний

Для радіомоніторингу випромінювань і постановки перешкод радіоелектронним засобам характерна проблема структурно-параметричної апріорної невизначеності щодо виду і параметрів ансамблю сигналів джерел радіовипромінювання. У цих умовах актуальним завданням є розробка способу математичного опису сигналів для реалізації їх обробки з подоланням апріорної невизначеності по їхньому виду і параметрах.

Дана задача вирішена шляхом узагальнення і доказу для фінітних сигналів теореми відліків Уїттекера-Котельникова-Шеннона (УКШ) в частотно-часовій області. В результаті доказу отримано новий дискретний частотно-часовий опис довільного фінітного сигналу у вигляді подвійного ряду за ортогональними функціями типу $\sin x/x$ або прямокутними функціями стробування Вудворда з явним видом функції фазо-частотно-часової модуляції. Обґрунтовані властивості теореми відліків в частотно-часовій області. Ці властивості установлюють, що базис частотно-часового подання є ортогональним, точність апроксимації базисними функціями $\sin x/x$ або прямокутними функціями стробування Вудворда однакова і відповідає точності апроксимації теореми відліків УКШ, а кількість відлікових точок довільного обмеженого по ширині спектру і тривалості сигналу, що беруться тепер по частоті і часу, визначається базою сигналу.

Розроблений опис сигналів в частотно-часовій області експериментально досліджено на визначенні-відтворенні безперервних, простих імпульсних і лінійно-частотно модульованих (ЛЧМ) радіосигналів. Підтверджено конструктивний характер отриманого опису, який є важливим та корисним при розробці методів, процедур і алгоритмів цифрової обробки сигналів в умовах структурно-параметричної апріорної невизначеності.

Ключові слова: радіомоніторинг, апріорна невизначеність, теорема відліків, частотно-часова область, визначення-відновлення сигналів, Фур'є-процесор.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.234674

РОЗРОБКА МЕТОДІВ СИНТЕЗУ ДИСКРЕТНИХ СКЛАДНИХ СИГНАЛІВ З НЕОБХІДНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ У СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ (с. 16–26)

І. Д. Горбенко, О. А. Замула

До інформаційно-комунікаційних систем (ІКС) пред'являються все більш жорсткі вимоги щодо забезпечення достовірності і швидкості передачі інформації, завадозахищеності, інформаційної безпеки. У роботі наведено: методи синтезу дискретних складних криптографічних сигналів, основою для побудови яких є випадкові (псевдовипадкові) процеси; методи синтезу характеристичних дискретних складних сигналів, побудова яких базується на використанні характеру мультиплікативної групи кінцевого поля; результати досліджень властивостей зазначених систем сигналів. Показано, що отримані методи забезпечують більш високу продуктивність синтезу ніж відомі методи і дають можливість алгоритмізувати процеси синтезу для побудови програмно-апаратних пристроїв формування таких сигналів. Виграш у часі синтезу нелінійних сигналів в кінцевих полях із застосуванням розробленого методу, в порівнянні з відомим методом, для періоду 9972 елементів становить 1039,6 рази. Запропонований метод синтезу всієї системи таких сигналів, на основі операції децимації, перевершує за швидкістю відомий метод різничних множин. Так, для періоду сигналу 2380 елементів виграш у часі становить понад 28 разів. Показано також, що застосування таких систем складних сигналів дозволить поліпшити показники ефективності сучасних ІКС. Так, імітостійкість системи, при застосуванні складних дискретних криптографічних сигналів з періодом сигналу 1023 елемента, на чотири порядки вище, ніж при застосуванні лінійних класів сигналів (наприклад, М-последовностей). Для періоду сигналу 1023 елемента виграш (з погляду структурної скритності) при використанні отриманих у роботі систем сигналів, порівняно з сигналами лінійної форми (М-последовностями), при періоді 8192, становить понад 300 разів.

Ключові слова: завадостійкість прийому, завадозахищеність, скритність, інформаційна безпека, дискретні последовності, синтез сигналів.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.233538

РОЗРОБКА РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МЕТОДУ ОЦІНЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЗАЛИШКОВОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ РАДІОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ (с. 27–39)

В. В. Лук'ячук, Б. М. Ланецький, Г. В. Худов, І. М. Теребуха, О. О. Зверев, О. В. Шкнай, Д. М. Запара, С. М. Петрук, В. П. Диптан, О. О. П'явчук

Для реалізації експлуатації радіотехнічного комплексу по технічному стану необхідно сумісно оцінювати його показники безвідмовності і залишкової довговічності з необхідною точністю і достовірністю і мінімізацією обсягу спеціальних випробувань.

Відомі методи орієнтовані на роздільне рішення задач оцінювання цих показників стосовно регламентованої стратегії. Для вирішення цієї проблеми розроблено загальні положення щодо оцінювання показників залишкової довговічності радіотехнічного комплексу, що включають прийняті допущення і обмеження для розробки методу, оцінювані показники і критерії граничного стану. Розроблений розрахунково-експериментальний метод являє собою сукупність математичних моделей зміни показників безвідмовності радіотехнічного комплексу від календарної тривалості експлуатації або сумарного напрацювання і аналітичних моделей оцінювання показників його залишкової довговічності. Математичні моделі зміни середнього напрацювання на відмову, ймовірності безвідмовного включення і параметра потоку відмов радіотехнічного комплексу від календарної тривалості експлуатації або сумарного напрацювання представлені у вигляді регресійних залежностей. Аналітичні моделі оцінювання показників залишкової довговічності є співвідношення для розрахунку «середнього залишкового терміну служби (ресурсу) по техніко-економічним критерієм з використанням регресійної-часових залежностей показників безвідмовності. Розроблений розрахунково-експериментальний метод можна використовувати для оцінювання показників залишкової довговічності радіотехнічного комплексу з прийнятними точностями (не більше 2 кварталу) і достовірно (не гірше 0,8). При цьому тривалість інтервалів прогнозування показників безвідмовності повинні складати від 0,5 до 1 року, а відповідні їм інтервали спостереження – більше 1 року.

Ключові слова: оцінювання показників залишкової довговічності, експлуатація за технічним станом, радіотехнічний комплекс.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.233786

ВДОСКОНАЛЕННЯ МОДЕЛІ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ НА ЗОБРАЖЕННЯХ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗГОРТКОВОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ (с. 40–50)

Б. П. Книш, Я. А. Кулик

Розглянуто модель розпізнавання об'єктів на зображеннях за допомогою згорткових нейронних мереж та дослідження ефективності процесу на основі моделей із навчанням глибоких шарів згорткових нейромереж. Існують об'єктивні труднощі, пов'язані з визначенням оптимальних характеристик нейронних мереж, тому є проблема перенавчання нейромережі. Усунення перенавчання шляхом визначення лише оптимальної кількості епох недостатнє, оскільки не забезпечує високу точність.

Визначено вимоги до набору зображень для навчання та перевірки моделі. Даним вимогам найбільш відповідає набір зображень INRIA (Франція).

Встановлено, що GoogLeNet (США) є навченою моделлю і може виконувати розпізнавання об'єктів на зображеннях, проте надійність розпізнавання об'єктів недостатня. Тому виникає необхідність підвищення ефективності розпізнавання об'єктів на зображеннях. Доцільно використати архітектуру GoogLeNet для створення спеціалізованої моделі, яка за рахунок зміни параметрів та перенавчання деяких шарів дозволить краще проводити процес розпізнавання об'єктів на зображеннях.

Виконано навчання десяти моделей з використанням таких параметрів: швидкість навчання, число епох, алгоритм оптимізації, вид зміни швидкості навчання, коефіцієнт γ чи ρ , попередньо навчена модель.

Розроблено згорткову нейронну мережу для підвищення точності та ефективності розпізнавання об'єктів на зображеннях. Визначено оптимальні параметри навчання нейромережі: швидкість навчання – 0,000025, число епох – 100, коефіцієнт ρ – 0,25 тощо. Отримано підвищення точності на 3 %, яке дозволяє стверджувати про правильність вибору архітектури розробленої мережі та підбору параметрів. Це дає можливість використовувати дану мережу для практичних задач розпізнавання об'єктів на зображеннях.

Ключові слова: обробка зображень, розпізнавання об'єктів, згорткові нейронні мережі, безпілотний літальний апарат.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.232718

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ОЦІНКИ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМАХ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ (с. 51–62)

К. А. Махді, А. В. Шишацький, Є. М. Прокопенко, Т. О. Івахненко, Д. А. Купрієнко, В. В. Голян, Р. Р. Лазута, С. І. Кравченко, Н. М. Протас, О. С. Моміт

Проведено розробку методики оцінки та прогнозування в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень. Сутність методики полягає в забезпеченні аналізу поточного стану об'єкту, що аналізується та короткострокового прогнозування стану об'єкту. Об'єктивний та повний аналіз досягається використанням удосконалених нечітких темпоральних моделей стану об'єкту та удосконаленої процедури обробки вихідних даних в умовах невизначеності. Також можливість об'єктивного та повного аналізу досягається за рахунок удосконаленої процедури прогнозування стану об'єкту та удосконаленої процедури навчання штучних нейронних мереж, що еволюціонують. Концепти нечіткої когнітивної моделі пов'язані підмножинами нечітких ступенів впливу, упорядкованих в хронологічній послідовності з урахуванням часових лагів відповідних компонентів багатовимірного часового ряду. В основу методики покладені нечіткі темпоральні моделі та штучні нейронні мережі, що еволюціонують. Особливістю методики є можливість врахування типу апріорної невизначеності про стан об'єкту (повної інформованості про стан об'єкту, часткової інформованості про стан об'єкту та повної невизначеності про стан об'єкту). Можливість уточнення інформації про стан об'єкту досягається за рахунок використання удосконаленої процедури навчання. Сутність процедури навчання полягає в тому, що навчання синаптичних ваг штучної нейронної мережі, типу та параметрів функції належності, а також архітектури окремих елементів і архітектури штучної нейронної мережі в цілому. Процедура прогнозування про стан об'єкту дозволяє проводити багатовимірний аналіз, врахування і опосередкований вплив всіх компонентів багатовимірного часового ряду з їх різними часовими зсувами один

відносно одного в умовах невизначеності. Використання методики дозволяє досягти підвищення ефективності оперативності обробки даних на рівні 15–25 % за рахунок використання додаткових удосконалених процедур.

Ключові слова: системи підтримки прийняття рішень, штучні нейронні мережі, прогнозування стану, навчання штучних нейронних мереж.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.233533

РОЗРОБКА КОНЦЕПЦІЇ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ БЕЗПЕКИ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ (с. 63–83)

С. П. Євсєєв, Є. О. Меленті, О. В. Войтко, В. М. Гребенюк, А. О. Корченко, С. А. Микусь, О. В. Мілов, О. С. Прокопенко, О. В. Северінов, Д. А. Чопенко

Для ефективного захисту об'єктів критичної інфраструктури (ОКІ) важливо розуміти спрямованість зусиль з кібербезпеки. Представлена концепція побудови систем безпеки, що базуються на множині моделей, що описують різні сторони функціонування об'єкта захисту.

Розробка концепції наведена у вигляді послідовності рішення наступних завдань. Визначено основні поняття, пов'язані з кібертерористичними атаками на ОКІ, які дозволяють окреслити межі проблеми і визначити рівень формалізації процесів моделювання. Модель загроз, що запропонована, дозволяє врахувати можливі синергетичні/емерджентні особливості комплексування сучасних цільових загроз і їх гібридність. Сформована уніфікована база загроз, яка не залежить від ОКІ. Розроблено концепцію моделювання системи безпеки ОКІ, що базується на множині моделей різних класів і рівнів. Розроблено методику, яка дозволяє визначити можливості нападника. Розроблено концепцію оцінки рівня захищеності ОКІ, що дозволяє сформувати уніфіковану базу загроз, оцінити ознаки їх синергізму та гібридності, виявити критичні точки в інфраструктурі ОКІ, визначити виконання вимог регуляторів, та стан системи захисту. Математичний апарат та множину моделей, які лежать в основі концепції, можливо використовувати для всіх ОКІ, що дозволяє уніфікувати превентивні заходи та підвищити рівень безпеки.

Запропоновано використання алгоритмів постквантової криптографії на крипто-кодових конструкціях для забезпечення послуг безпеки. Запропоновані механізми забезпечують рівень стійкості (2^{30} – 2^{35} групових операцій), швидкість криптоперетворень порівнянна з БСШ та вірогідності ($P_{\text{пом}} 10^{-9}$ – 10^{-12}).

Ключові слова: критична інфраструктура, система безпеки, класифікатор загроз, концепція, методологія моделювання.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.231225

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСНОГО ПІДХОДУ ДО ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ (с. 84–93)

О. М. Величко, О. В. Грабовський, Т. Б. Гордієнко, С. Л. Волков

Проблеми підвищення надійності та конкурентоспроможності виробів у всіх галузях національної економіки можливі лише на основі отримання повної і достовірної вимірювальної інформації. Цьому сприяють сучасні засоби вимірювальної техніки (ЗВТ), які є складними апаратно-програмними системами. Актуальність дослідження зумовлена тим, що сучасні ЗВТ потребують ефективного оцінювання їх якості на всіх стадіях життєвого циклу (ЖЦ). Для цього необхідне розроблення відповідних методів оцінювання як на етапі виробництва, так і на етапі експлуатації ЗВТ.

Доведена доцільність використання процесного підходу до стадій ЖЦ ЗВТ і його переваги перед функціональним підходом. Процесний підхід дозволяє більш ефективно здійснювати оцінювання показників якості ЗВТ на різних стадіях ЖЦ і є сумісним з побудовою сучасних систем управління якістю.

Проведене математичне моделювання, розроблено множинну процесну модель ЖЦ ЗВТ і здійснено її представлення у вигляді процесної V-моделі. Це дозволяє здійснювати дослідження взаємодії процесів всіх стадій ЖЦ ЗВТ і виконувати управління якістю процесами на всіх стадіях ЖЦ ЗВТ.

Проведене математичне моделювання, розроблено множинну процесну модель оцінювання показників якості стадій ЖЦ ЗВТ і здійснено її представлення у вигляді процесної V-моделі. Це дозволяє здійснювати оцінювання показників якості ЗВТ і його складових протягом всього ЖЦ ЗВТ.

Сформульовані рекомендації для використання вимоги міжнародних стандартів, зокрема щодо планування управління проектами, процесів вимірювання, вимог до систем протягом усього ЖЦ ЗВТ, аналізу і управління ризиками на стадіях ЖЦ. Це має сприяти підвищенню ефективності у досягненні запланованих результатів на всіх стадіях ЖЦ ЗВТ.

Ключові слова: процесний підхід, життєвий цикл, система якості, засіб вимірювальної техніки, множинна модель.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.235835

СИНТЕЗ УСТРОЙСТВА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО ПРИЕМА СИГНАЛІВ ТОНАЛЬНИХ РЕЛЬСОВИХ ЦЕПЕЙ НА ФОНЕ АДДИТИВНОЇ П'ЯТИКОМПОНЕНТНОЇ ПОМЕХИ (с. 94–102)

С. В. Панченко, О. М. Ананьєва, М. М. Бабаєв, М. Г. Давиденко, В. В. Панченко

Синтезовано оптимальний приймальний пристрій інформаційних сигналів тональних рейкових кіл. Сигнали спостерігаються на тлі адитивної п'ятикомпонентної завади. Перша компонента завади – ширококутовий гаусівський шум. Інші чотири

компоненти завади – структурно детерміновані: одиночна імпульсна завада, завада від сусіднього тонального рейкового кола й мультigarмонійні завади від змінного тягового струму сукупно з лінією електропередач і від тягового перетворювача локомотива. Наявність комплексу завад призводить до помилок в прийнятті рішень щодо регулювання руху поїздів. Це наражає учасників даного руху на небезпеку загрозливих надзвичайних ситуацій. Тому необхідні розробка та дослідження засобів завадостійкого приймання інформаційних сигналів та формування диспетчерських рішень. Рішення про наявність або відсутність сигналу приймається шляхом порівняння двох величин середнього квадрата помилки апроксимації. Під даною помилкою розуміється різниця між вхідною напруженою приймача й сумою сигналу зі структурно детермінованими завадами. Перша величина помилки обчислюється в припущенні про наявність сигналу в суміші зі структурно детермінованими завадами. Друга величина помилки обчислюється в припущенні про відсутність сигналу в цій суміші. Шумова компонента вважається присутньою в обох випадках. Рішення відповідає каналу з меншою величиною середнього квадрата помилки. Подана блок-схема пристрою. Аналітичним шляхом показано, що середня величина помилки розпізнавання ситуації наявності або відсутності сигналу на два порядки менша, ніж припустима за нормативними вимогами. Висока завадостійкість розробленого пристрою дозволить підвищити безпеку руху поїздів.

Ключові слова: структурно детермінована завада, відношення правдоподібності, оптимальне розрізнення сигналів, регулювання руху поїздів.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.235521

РОЗРОБКА МЕТОДУ КОДУВАННЯ СЛУЖБОВИХ ДАНИХ В СИСТЕМАХ КРИПТОКОМПРЕСІЙНОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ (103–115)

В. В. Бараннік, С. О. Сідченко, Н. В. Бараннік, В. В. Бараннік

Попит на забезпечення конфіденційності зображень стає дедалі більше. При цьому забезпечення конфіденційності відеоінформації необхідно організувати за умови забезпечення її достовірності із заданою часовою затримкою в обробці та передачі. Для вирішення даної проблеми можуть застосовуватися методи криптокомпресійного представлення зображень. Вони призначені для одночасного забезпечення компресії та захисту відеоінформації. В якості ключа криптокомпресійного перетворення виступає службова складова. Однак вона має значний обсяг. Він становить 25 % від обсягу вихідних відеоданих. Розроблено метод кодування систем службових складових в диференційованому базисі на другому каскаді криптокомпресійного представлення зображень. Основою методу є розроблена схема лінеаризації даних з тривимірних координат представлення у двовимірній матриці в одновимірну координату для взаємно-однозначного уявлення цього елемента у векторі. Лінеаризація організовується в горизонтальному напрямку по рядках. На основі розробленого методу формується недетермінована кількість кодових величин інформаційних складових. Вони мають недетерміновану довжину та сформовані на недетермінованій кількості елементів. Забезпечується невідомість позиціонування криптокомпресійних кодограм в загальному кодовому потоці, що фактично усуває можливість їх несанкціонованого дешифрування. Метод забезпечує зменшення обсягу службової складової криптокомпресійної кодограми. Обсяг службових даних становить 6,25 % від обсягу вихідних відеоданих. Метод забезпечує додаткове зменшення обсягу криптокомпресійного представлення зображень без втрати якості інформації щодо вихідних відеоданих в середньому від 1,08 до 1,54 рази в залежності від ступеня їх насиченості.

Ключові слова: криптокомпресія, службова складова, захист інформації, плаваюча схема, диференційований базис.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.235609

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ПІДСИСТЕМИ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗМІН МАРШРУТІВ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ В МОБІЛЬНИХ РАДІОМЕРЕЖАХ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ (с. 116–125)

А. С. Дівіцький, С. В. Сальник, В. Д. Голь, П. Г. Сидоркін, А. С. Сторчак

В роботі вирішувалося питання щодо покращення якості обслуговування системи управління мобільних радіомереж. Здійснено аналіз сфери прогнозування, що стосуються методів якості обслуговування мобільних радіомереж спеціального призначення, зокрема прогнозування часу перевантаження маршрутів передачі даних. З'ясовано, що дані методи використовуються у провідних та комп'ютерних мережах, працюють на мережевому та каналному рівнях. Висвітлено базові параметри протоколів каналного та мережевого рівнів мобільних радіомереж. Проаналізовано методи прогнозування: часової екстраполяції, причинного зв'язку, експертні та вказані основні недоліки. Показано модель системи управління мобільних радіомереж з підсистемою прогнозування. Описані особливості мобільних радіомереж, які формують вимоги до методів маршрутизації. Висунуто множини вимог до моделі системи управління мобільних радіомереж. Запропоновано структуру моделі системи управління мобільних радіомереж з вдосконаленою підсистемою прогнозування. На основі генетичних алгоритмів вирішені поставлені завдання, що виникають в процесі ідентифікації, навчання та прогнозування у підсистемі прогнозування. Функціонування процесів полягає у побудові бази правил, направлених на виявлення істотних залежностей у тимчасовому ряді на основі застосування генетичного алгоритму. В основі лежить використання еволюційних принципів пошуку оптимального рішення. Застосування запропонованої моделі дозволить здійснювати ідентифікацію в режимі реального часу та суттєво підвищить якість обслуговування мобільних радіомереж. Надасть можливість збільшити швидкість та об'єм даних, які обробляються у процесі функціонування, покращити якість та достовірність прогнозування змін маршрутів передачі даних.

Ключові слова: радіомережа, дані, управління, прогнозування, модель, маршрутизація, перевантаження, ідентифікація, інтелектуалізація, алгоритм.