

UDC 519.25:519.6:004.021:004.042:621.39

MATHEMATICAL, ALGORITHMIC AND SOFTWARE SUPPORT OF SYNPHASE DETECTION OF RADIO SIGNALS IN ELECTRONIC COMMUNICATION NETWORKS WITH NOISES

Liliia Khvostivska; Mykola Khvostivskyi; Vasyl Dunets; Iryna Dediv

*Ternopil Ivan Puluj National Technical University,
Ternopil, Ukraine*

Summary. *Mathematical (radio signal model as a periodically correlated stochastic process and synphase method of its processing) and algorithmic support for synphase detection of stochastic-periodic radio signals in electronic communication networks with noise by calculating new detection indicators in the form of correlation components, which ensure effective making a decision regarding the presence or the absence of a useful radio signal in obstacles of different power. For a more detailed assessment of the calculated indicators of radio signal detection in the form of correlation components, were used averaged estimates. Software for synphase detection of radio signals in electronic communication networks with a graphical user interface is implemented in the Matlab environment. The process of synphase detection of radio signals in electronic communication networks with noise was investigated and the effectiveness of the application of new detection indicators was ascertained.*

Key words: *radio signal, mathematical support, periodically correlated stochastic process, synphase method, algorithmic support, software, detection, noise, electronic communication network, Matlab.*

https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2023.03.048

Received 26.06.2023

Statement of the problem. Effective detection of useful radio signals in electronic communication networks (computer networks, mobile communication networks, etc.) with noise is the main problem of radio signal preprocessing in the field of designing electronic communication networks. Fundamental works in this direction are the works of V. Tikhonov, V. Kotelnikova and B. Levin and a number of other scientists.

Analysis of the well-known results of the research. Known algorithmic and software processing of radio signals for detect the useful component (signal without noise) in electronic communication networks with noise are implemented on the basis of maximum likelihood methods [1, 2], filtering [3], correlation [4] and wavelet processing [7]. The core of the existing methods are mathematical models of the type of random stationary process and the sum of useful signals and noise. These models are idealized by the constructive consideration in their structure of only the stochastic component without taking into account the periodic component as a basic characteristic of real radio signals for various types of modulation in electronic communication networks during data reception/transmission.

The Objective of the work. The development of a new additional mathematical (mathematical model of a stochastic-periodic radio signal and its processing method), algorithmic and software for effective detection of useful stochastic-periodic radio signals (making a decision about the fact of the absence or presence of a useful radio signal) in modern electronic communication networks with noise is actuality problem.

Mathematical support for detection of radio signals in electronic communication networks. The electronic communication network is the most vulnerable link, which is exposed to noises of various power (Fig. 1).

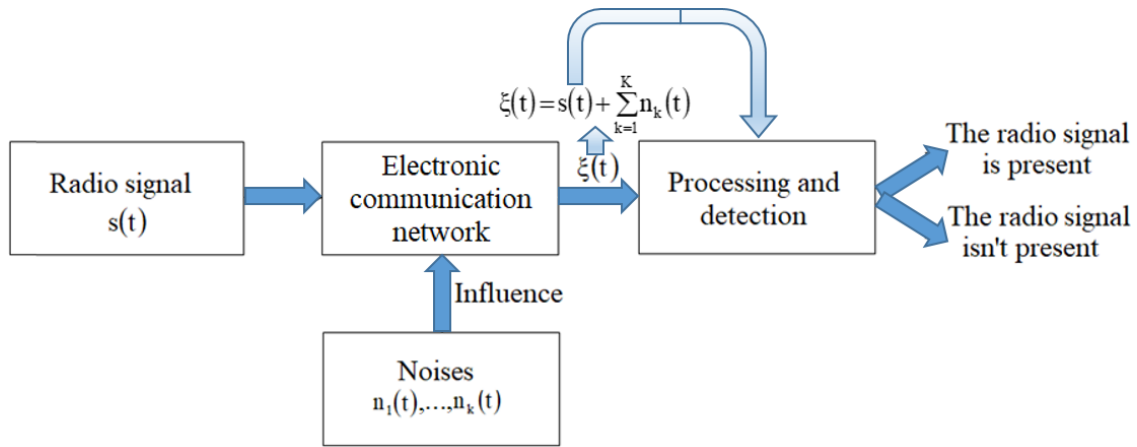


Figure 1. View of the model of radio signals in an electronic communication network

The mathematical image of the model of radio signals (Fig. 1) as the core of mathematical support for their detection is directed on describing real signals, taking into account all the features of various types of noises on the electronic communication network itself. The connection between the input and output signal has a mathematical representation by an expression:

$$\zeta(t) = s(t) + \sum_{k=1}^K n_k(t), \quad t \in R. \tag{1}$$

where $n_k(t)$ – additive k -th noise, which has a negative effect on the network, in particular, on the useful radio signal $s(t)$.

The experimental implementation of a radio signal, in particular, on the example of an amplitude-modulated signal with noise, is shown in Fig. 2.

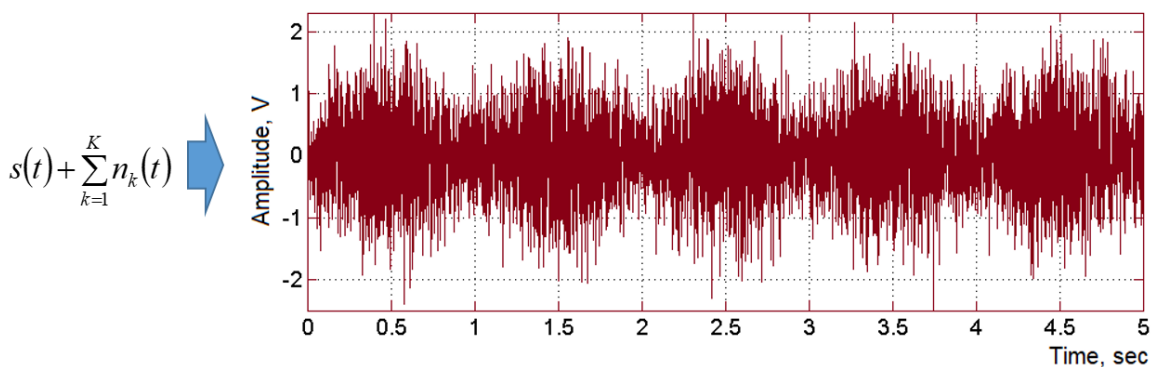


Figure 2. Amplitude-modulated radio signal with noise

Modulated radio signals in the process of their transmission/reception are characterized by the property of combining a stochastic component (influence of noise) and a periodic component (caused by radio signal modulation) [14].

Therefore, when implementing the caused by radio signal modulation method of processing radio signals $\xi(t)$ in electronic communication networks with noise, it is necessary to adequately present their model as the core of mathematical support for detection, which is a determining factor in the effectiveness of methods, algorithmic and software detection of useful radio signals $s(t)$.

These requirements are met by the image of a model as a periodically correlated stochastic process (PCSR), which is equipped with a powerful arsenal for processing radio signals for the purpose of their detection in electronic communication networks with noise. This interpretation is presented in the work of Khvostivska Liliia and Koval Liliia [6].

Radio signals in electronic communication networks with noise are represented in the form of PCVP through the expression [5, 6, 8, 9, 13]:

$$\xi(t) = \sum_{k \in \mathbb{Z}} \xi_k(t) e^{ik \frac{2\pi}{T} t}, \quad t \in \mathbb{R} \quad (2)$$

where $\xi_k(t)$ – stochastic radio signal component in electronic communication networks with noise;

$e^{ik \frac{2\pi}{T} t}$ – a periodic component of a radio signal in electronic communication networks with a period indicator T .

The mathematical representation of the model of a radio signal in electronic communication networks with noise through PCSP according to the energy theory of stochastic signals enables the implementation of methods, algorithmic and software for the detection of useful radio signals based on synphase processing as a method of calculating the effective detection index in the form of correlation components $B_k(u)$.

The synphase method of radio signal processing provides the process of calculating the correlation components taking into account the statistics of the parametric covariance $\hat{b}(t, u)$ [5, 10]:

$$\hat{B}_k(u) = \frac{1}{T} \int_0^T \hat{b}(t, u) \exp\left(-ik \frac{2\pi}{T} t\right) dt. \quad (3)$$

where

$$\hat{b}_\xi(t, u) = \sum_{k=0}^{N-1} \xi(t+u+kT) \xi(t+kT). \quad (4)$$

where T – the value of the period of the radio signal (calculated according to the methodology given in the work [11]);

N – the number of repetitions (periods) of the radio signal;

u – time shift.

The synphase method according to expressions (3) and (4) ensures the calculation of static detection indicators by correlation components $B_k(u)$ of a stochastic-periodic radio signal as PCSP.

Algorithmic support of detection of radio signals in electronic communication networks. Figure 3 shows the structural sequence of the process of detecting useful radio signals in electronic communication networks with noises.

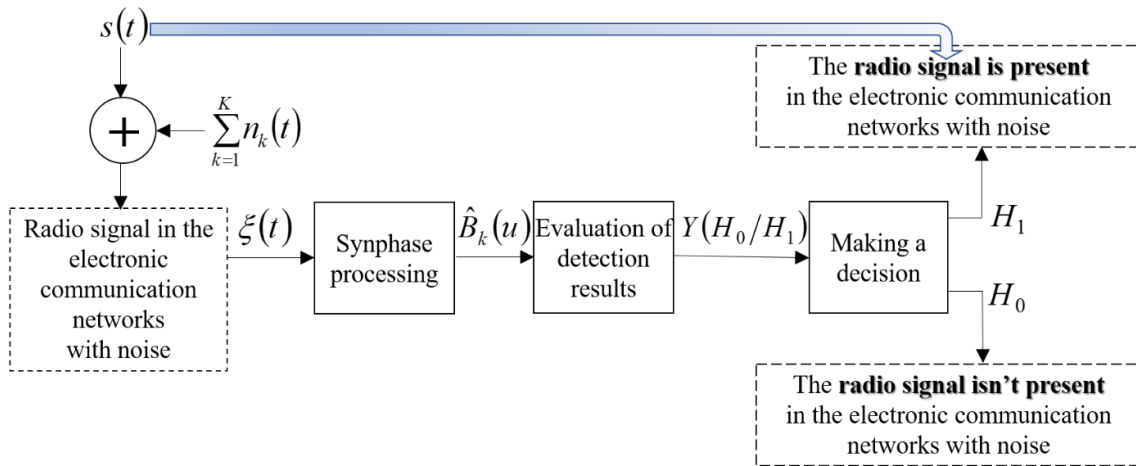


Figure 3. Structural sequence of radio signal detection in electronic communication networks

Steps of the structural sequence of detection of useful radio signals:

Synphase processing of radio signals $\xi(t)$ in electronic communication networks with noises according to expressions (3–4), which ensures the calculation of the detection index in the form of correlation components $\hat{B}_k(u)$.

Evaluation of the calculated correlation components $\hat{B}_k(u)$ in accordance with the form and values that will ensure the process of detecting a useful radio signal $s(t)$;

Making a decision based on the form and indicators of the estimated correlation components regarding the presence/absence of useful radio signals $s(t)$ in electronic communication networks with noises.

Algorithmic provision of synphase radio signal processing as a method of their synphase detection in electronic communication networks with noises is shown in Fig. 4.

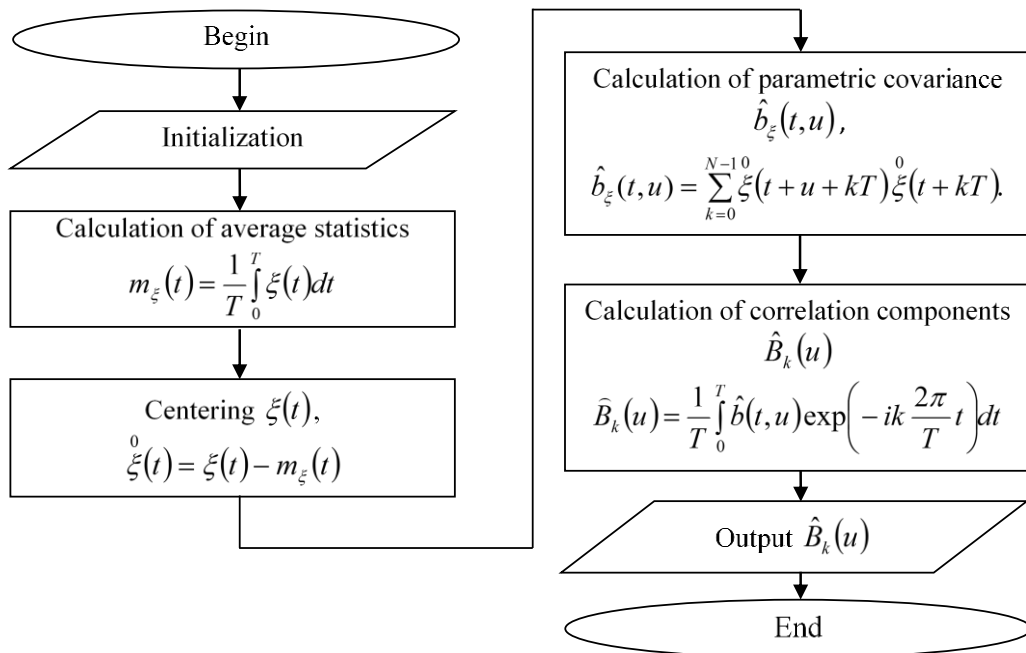


Figure 4. Algorithmic support of synphase radio signal processing as the core of software for their synphase detection

The developed algorithmic support created prerequisites for the implementation of synphase processing software as the basis for synphase detection of radio signals in electronic communication networks with noises.

Software and the result of detection of radio signals in electronic communication networks. The software for synphase detection of radio signals is developed in the MATLAB environment based on algorithmic support (Fig. 4).

The result of synphase detection of useful radio signals in electronic communication networks with noises in the form of 3D correlation components the power of noise of $0V^2$ is shown in Fig. 5.

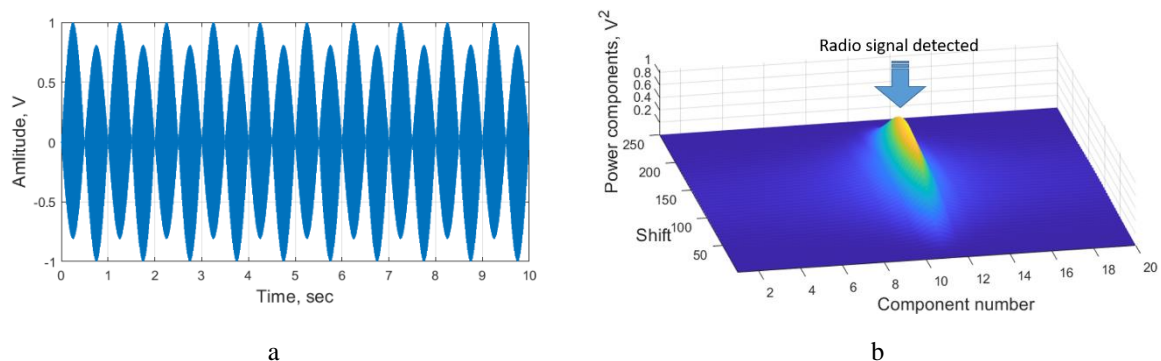


Figure 5. The result of synphase detection of a radio signal the power of noise of $0V^2$:
a) radio signal implementation; b) detection rate (correlation components)

Figure 5 shows that the useful radio signal (Figure 5,a) is clearly localized on the 11th component (Figure 5,b), which ensures its detection. This fact indicates the relevance of using correlation components (Fig. 5, b) as detection indicators.

The noise power level was increased to $0.6V^2$ and the correlation components of the radio signal were calculated, which are shown in Fig. 6.

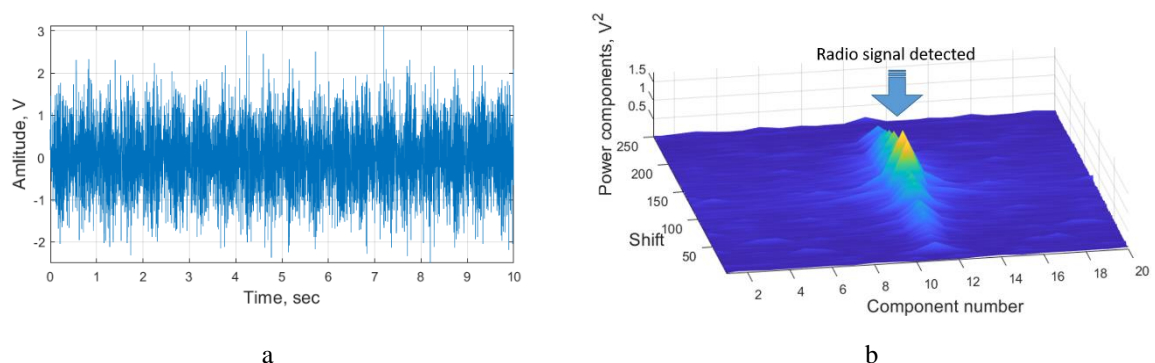


Figure 6. The result of synphase detection of a radio signal at the power of noise of $0,6V^2$:
a) radio signal implementation; b) detection rate (correlation components)

In this case, the useful radio signal is clearly localized on the implementation of the correlation components (Fig. 6, b) as in the case without noise in Fig. 5, b.

The noise power level was increased to $1.2V^2$, which exceeds the power of the useful radio signal, and correlation components were calculated, which are shown in Fig. 7.b. The result of localization of a useful radio signal on the implementation of correlation components (Fig. 7.b) is identical to the results obtained above, which indicates the effectiveness of

detecting a useful radio signal in electronic communication networks with noises without any difficulties.

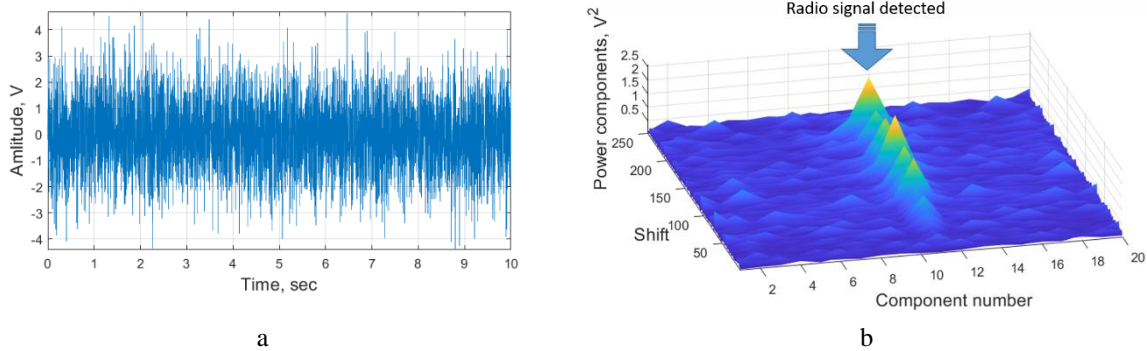


Figure 7. The result of synphase detection of a radio signal at the power of noise of 1,2V²: a) radio signal implementation; b) detection rate (correlation components)

Therefore, the correlation components (Fig. 5–7, b) as detection indicators ensure the formation of logical and justified conclusions which regarding the presence/absence of a useful radio signal (Fig. 5-7, a) in electronic communication networks.

To ensure a more detailed evaluation of detection indicators (correlation components $\hat{B}_k(u)$), their averaged statistical evaluation by components was used, which was proposed in the work of Khvostivskiy Mykola [12] in according to the expression:

$$M_k \left\{ \hat{B}_k(u) \right\} = \frac{1}{N_k} \sum_{k=1}^{N_k} \hat{B}_k(u), \quad u = \overline{1, N_u}, \quad k = \overline{1, N_k}. \quad (5)$$

where u – displacement value; N_k – shift length; N_u – total number of components k ;

Realizations of the averaged correlation components $\hat{B}_k(u)$ of the radio signal calculated according to expression (5) at different noise power are shown in Fig. 8.

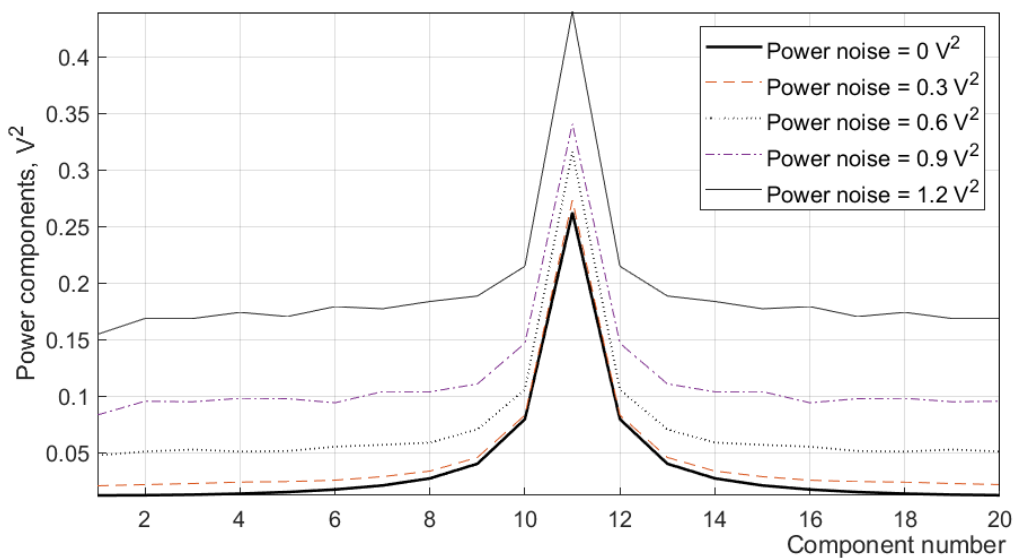


Figure 8. Averaged network radio signal components with noise component with power level {0;0,3;0,6;0,9;1,2} V²

The estimated averaged components of the radio signal (Fig. 8) provide a more detailed comparison of detection results in contrast to the unaveraged correlation components (Figs. 5–7) and provide effective detection of radio signals in electronic communication networks with noises.

Using the GUIDE utility of the MATLAB environment, software with a graphical interface was developed for automated detection of useful radio signals in electronic communication networks with noises (Fig. 9).

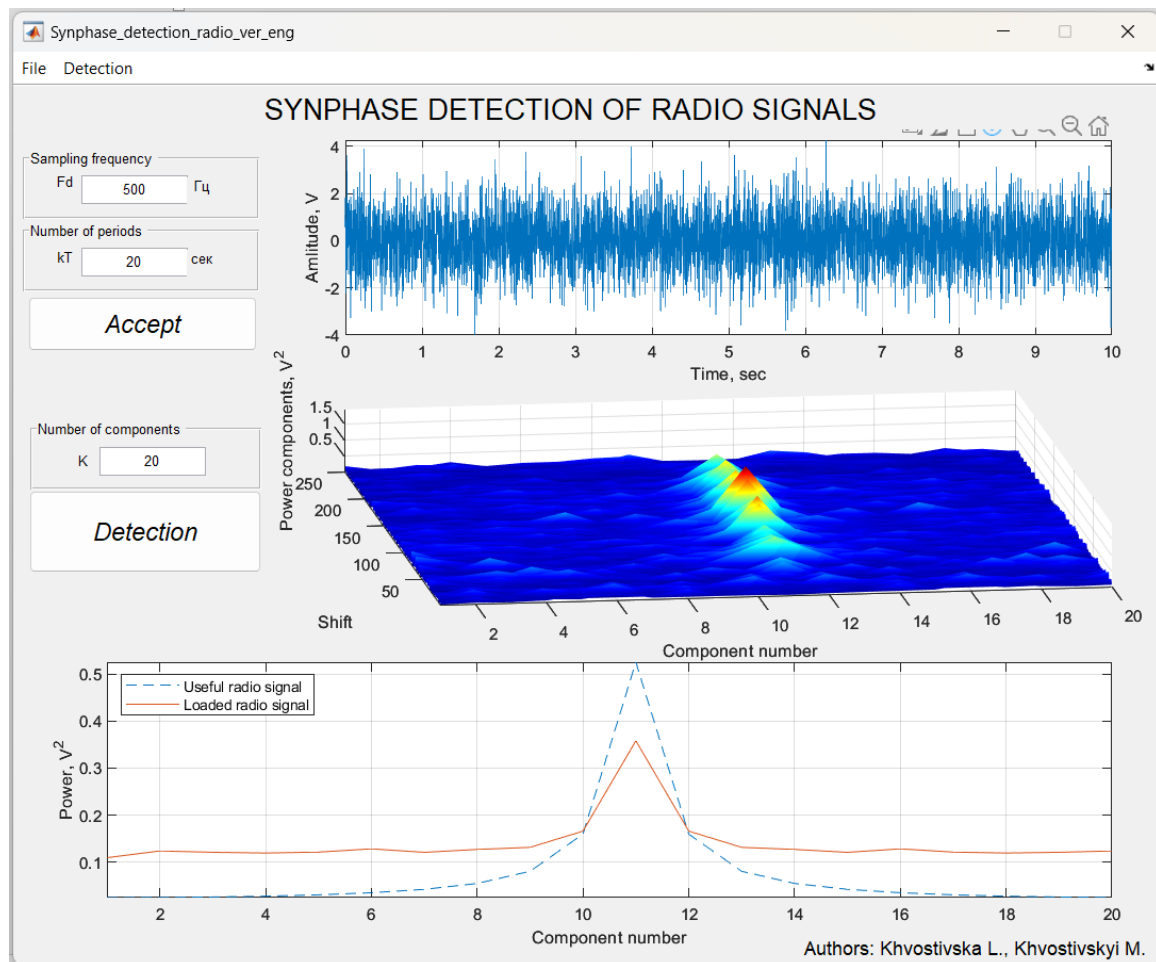


Figure 9. The result of the work of the software for synphase radio signal detection (noise power level 1 V^2)

The implemented software provides a procedure for automating the synphase detection of a useful radio signal in electronic communication networks with noises of different power.

Conclusions. The results of processing stochastic-periodic radio signals as periodically correlated stochastic processes in electronic communication networks with noises as averaged correlation components indicate that the developed synphase method, algorithmic and software organize the process of tracking and effective synphase detection of the presence/absence of useful radio signal on the background of noises of different power.

References

1. Korchagin Yu. É., Titov K. D. Detection of an Ultra-Wideband Quasi Radio Signal with Unknown Duration Against the Background of White Noise. Radiophysics and Quantum Electronics. Volume 61. P. 853–866. 2019. <https://doi.org/10.1007/s11141-019-09942-5>
2. Trifonov A. P., Korchagin Yu. É., Trifonov M. V. Detection of Radio Signals with Unknown Duration, Amplitude, and Initial Phase. Radiophysics and Quantum Electronics. Volume 58. Issue 5. P. 361–372. October 2015. <https://doi.org/10.1007/s11141-015-9610-5>

3. Kolumbán G., Krébesz T. Chaotic Communications with Autocorrelation Receiver: Modeling, Theory and Performance Limits. *Intelligent Computing Based on Chaos*. 2009. SCI 184. P. 121–143. https://doi.org/10.1007/978-3-540-95972-4_6
4. Dragan Ya. P. Enerhetychna teoriia liniinykh modelei stokhastychnykh syhnaliv. Lviv: Tsentr stratehichnykh doslidzhen eko-bio-tekhnichnykh system, 1997. XVI+333 p. [In Ukrainian].
5. Khvostivska L. V., Koval L. M. Vyiavlennia korysnykh radiosyhnaliv yak periodychno korelovanykh vypadkovykh protsesiv v umovakh apriornoj nevyznachenosti. *Materialy IV Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh vchenykh za tematykoiu "Suchasni kompiuterni systemy ta merezhi v upravlinni"*: zbirka naukovykh prats / pid redaktsiyeyu H. O. Rayko. Kherson: Vydavnytstvo FOP Vyshemyrs'kyy V. S., 2021. P. 133. [In Ukrainian].
6. Khvostivska L. V., Kazmiriv V. V., Remez A. V. Veivlet obrobka radiosyhnaliv dlia zadachi yikh vyiavlennia na foni zavad [Wavelet processing of radiosignals for the problem of their detection against the background of interferences]. XI International scientific and practical conference of young researchers and students "Current issues in modern technologies" (Tern., 7–8 December 2022). P. 119–120. [In Ukrainian].
7. Khvostivska L., Khvostivskyy M., Dunets V., Dediv I. Mathematical and Algorithmic Support of Detection Useful Radiosignals in Telecommunication Networks. *CEUR Workshop Proceedings. 2nd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems, ITTAP 2022 Ternopil 22–24 November 2022*. P. 314–318.
8. Dragan Ya. P., Osukhivska H. M., Khvostivskiy M. O. Obgruntuvannia matematychnoi modeli elektrotreynohrafichnogo syhnalu u vyhliadi periodychno korelovanoho vypadkovoho protsesu. *Kompiuterni tekhnolohii druzarstva*. Lviv: Ukrainska akademiia druzarstva. 2007. No. 18. P. 129–138. [In Ukrainian].
9. Khvostivska L. V., Yavorskyi B. I. Aktualnist zastosuvannia synfaznogo ta komponentnogo metodiv shchodo analizu pulsovoho syhnalu sudyn liudyny. *Materialy XVII naukovo konferentsii Ternopil'skoho natsionalnogo tekhnichnogo universytetu imeni Ivana Puliuia "Pryrodnychi nauky ta informatsiini tekhnolohii"* (20–21 lystopada 2013 r.). Ternopil, 2013. T. 1. P. 45. [In Ukrainian].
10. Hvostivska L. V., Osukhivska H. M., Hvostivskyy M. O., Shadrina H. M., Dediv I. Yu. Development of methods and algorithms for a stochastic biomedical signal period calculation in medical computer diagnostic systems. *Visnyk NTUU KPI Serii – Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*. (79). P. 78–84. <https://doi.org/10.20535/RADAP.2019.79.78-84>
11. Khvostivskiy M. O. Matematychna model makromekhanizmu formuvannia elektrotreynosyhnalu dlia pidvyshchennia dostovirnosti oftalmodiagnostychnykh system. *Avtoreferat dysertatsii na zdobuttia naukovoho stupenia kandydata tekhnichnykh nauk: 01.05.02 Matematychno modeliuвання ta obchysliuvanni metody*. Ternopil, 2010. 20 p. [In Ukrainian].
12. Dragan Ya. P., Osukhivska H. M., Khvostivskiy M. O. Obgruntuvannia matematychnoi modeli elektrotreynohrafichnogo syhnalu u vyhliadi periodychno korelovanoho vypadkovoho protsesu. *Kompiuterni tekhnolohii druzarstva*. Lviv: Ukrainska akademiia druzarstva. 2007. No. 18. P. 129–138. [In Ukrainian].
13. Hvostivska L. V., Dediv I. Y., Isaenko D. V. (2019). Heneruvannia radiosyhnaliv dlia testuvannia prohramnogo zabezpechennia kompiuternykh radiosystem. *Actual problems of modern technologies: book of abstracts of the XIII International scientific and technical conference of young researchers and students (Tern., 27–28 November 2019)*. Vol. 2. P. 108–109. [In Ukrainian].
14. Laptiev O., Polovinkin I., Vitalii S., Stefurak O., Barabash O. and Zelikovska O., "The Method of Improving the Signal Detection Quality by Accounting for Interference," 2020 IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT). 2020. P. 172–175. <https://doi.org/10.1109/ATIT50783.2020.9349259>

Список використаних джерел

1. Korchagin Yu. É., Titov K. D. Detection of an Ultra-Wideband Quasi Radio Signal with Unknown Duration Against the Background of White Noise. *Radiophysics and Quantum Electronics*. Volume 61. P.853–866. 2019. <https://doi.org/10.1007/s11141-019-09942-5>
2. Trifonov A. P., Korchagin Yu. É., Trifonov M. V. Detection of Radio Signals with Unknown Duration, Amplitude, and Initial Phase. *Radiophysics and Quantum Electronics*. Volume 58. Issue 5. P. 361–372. October 2015. <https://doi.org/10.1007/s11141-015-9610-5>
3. Kolumbán G., Krébesz T. Chaotic Communications with Autocorrelation Receiver: Modeling, Theory and Performance Limits. *Intelligent Computing Based on Chaos*. 2009. SCI 184. P. 121–143. https://doi.org/10.1007/978-3-540-95972-4_6
4. Драган Я. П. Энергетична теорія лінійних моделей стохастичних сигналів. Львів: Центр стратегічних досліджень еко-біо-технічних систем, 1997. XVI+333 с.

5. Хвостівська Л. В., Коваль Л. М. Виявлення корисних радіосигналів як періодично корельованих випадкових процесів в умовах апіорної невизначеності: матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих вчених за тематикою «Сучасні комп'ютерні системи та мережі в управлінні»: збірка наукових праць / під редакцією Г. О. Райко. Херсон: Видавництво ФОП Вишемирський В. С., 2021. С. 133.
6. Хвостівська Л. В. Казьмірів В. В., Ремез А. В. Вейвлет обробка радіосигналів для задачі їх виявлення на фоні завад. XI Міжнародна науково-практична конференція молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 7–8 грудня 2022 року. Т. ТНТУ, 2022. С. 119–120.
7. Khvostivska L., Khvostivskyy M., Dunets V., Dediv I. Mathematical and Algorithmic Support of Detection Useful Radiosignals in Telecommunication Networks. CEUR Workshop Proceedings. 2nd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems, ITTAP 2022 Ternopil. 22–24 November 2022. P. 314–318.
8. Драган Я. П., Осухівська Г. М., Хвостівський М. О. Обґрунтування математичної моделі електроретинографічного сигналу у вигляді періодично корельованого випадкового процесу. Комп'ютерні технології друкарства. Львів: Українська академія друкарства, 2007. № 18. С. 129–138.
9. Хвостівська Л. В., Яворський Б. І. Актуальність застосування синфазного та компонентного методів щодо аналізу пульсового сигналу судин людини: матеріали XVII наукової конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя «Природничі науки та інформаційні технології» (м. Тернопіль, 20–21 листопада 2013 р.). Тернопіль, 2013. Т. 1. С. 45.
10. Hvostivska L. V., Osukhivska H. M., Hvostivskyy M. O., Shadrina H. M., Dediv I. Yu. Development of methods and algorithms for a stochastic biomedical signal period calculation in medical computer diagnostic systems. Visnyk NTUU KPI Seriya – Radiotekhnika Radioaparaturbuduvannya, (79). P. 78–84. <https://doi.org/10.20535/RADAP.2019.79.78-84>
11. Хвостівський М. О. Математична модель макромеханізму формування електроретиносигналу для підвищення достовірності офтальмодіагностичних систем: автореф. дис. ... канд. техніч. наук: 01.05.02. Математичне моделювання та обчислювальні методи. Тернопіль, 2010. 20 с.
12. Драган Я. П., Осухівська Г. М., Хвостівський М. О. Обґрунтування математичної моделі електроретинографічного сигналу у вигляді періодично корельованого випадкового процесу. Комп'ютерні технології друкарства. Львів: Українська академія друкарства, 2007. № 18. С. 129–138.
13. Хвостівська Л. В., Дедів І. Ю., Ісаєнко Д. В. Генерування радіосигналів для тестування програмного забезпечення комп'ютерних радіосистем. Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей VIII міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 27–28 листоп. 2019 р.). Тернопіль: ТНТУ, 2019. С. 108–109.
14. Laptiev O., Polovinkin I., Vitalii S., Stefurak O., Barabash O. and Zelikovska O., “The Method of Improving the Signal Detection Quality by Accounting for Interference,” 2020 IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT). 2020. P. 172–175. <https://doi.org/10.1109/ATIT50783.2020.9349259>

УДК 519.25:519.6:004.021:004.042:621.39

МАТЕМАТИЧНЕ, АЛГОРИТМІЧНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИНФАЗНОГО ВИЯВЛЕННЯ РАДІОСИГНАЛІВ В ЕЛЕКТРОННИХ КОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ ІЗ ЗАВАДАМИ

Лілія Хвостівська; Микола Хвостівський; Василь Дунець; Ірина Дедів

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,
Тернопіль, Україна*

***Резюме.** Реалізовано математичне (модель радіосигналу у вигляді періодично корельованого випадкового процесу та синфазний метод його обробки) та алгоритмічне забезпечення синфазного виявлення стохастично-періодичних радіосигналів в електронних комунікаційних мережах із завадами шляхом обчислення нових показників виявлення у вигляді 3D кореляційних компонент, які забезпечують ефективно прийняття рішення щодо присутності/відсутності корисного радіосигналу у завадах різної*

потужності. Математичне забезпечення обробки забезпечує поєднання у своїй структурі властивості періодичності (модуляційні процеси в процесі передавання радіосигналів в електронних комунікаційних мережах) та стохастичності (вплив різного роду завад) досліджуваних радіосигналів, що є їх конструктивною особливістю в реальних умовах. Для більш детального оцінювання обчислених показників виявлення радіосигналів у вигляді 3D кореляційних компонент використано їх усереднені статистичні оцінки. На основі алгоритмічного забезпечення в середовищі Matlab при використанні утиліти Guide реалізовано програмне забезпечення з графічним інтерфейсом користувача для автоматизованого синфазного виявлення радіосигналів в електронних комунікаційних мережах. Досліджено процес синфазного виявлення радіосигналів із завадами різної потужності та констатовано ефективність застосування нових показників виявлення (3D кореляційних компонент та їх усереднених оцінок), які чітко відображають як кількісно так і візуально локалізацію та рівень корисного радіосигналу замаскованого завадами. Встановлено, що запропоновані нові показники виявлення (кореляційні компоненти) стохастично-періодичних радіосигналів в електронних комунікаційних мережах із завадами на базі математичного забезпечення обробки з ядром математичної моделі у вигляді періодично корельованого випадкового процесу за своєю інформативністю є ефективнішими на відміну від показників стаціонарної моделі через кількісне відображення факту присутності/відсутності корисних радіосигналів спотворених завадами різної потужності.

Ключові слова: радіосигнал, математичне забезпечення, періодично корельований випадковий процес, синфазний метод, алгоритмічне забезпечення, програмне забезпечення, виявлення, завади, електронна комунікаційна мережа, Matlab.

https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2023.03.048

Отримано 26.06.2023