

L. LAIKOVA, T. TERESHCHENKO, Y. YAMNENKO

Ukraine, National technical university of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

E-mail: laikova@ukr.net

MATRIX CALCULATION OF CORRELATION CHARACTERISTICS OF TIME CHARTS BASED ON SPECTRAL METHODS

The paper is devoted to the problem of calculation of autocorrelation function that is important for solving the tasks that require finding the repeating intervals of the signal or defining the main frequency of the signal against the background of non-stationary noise. The authors propose an algorithm to transform the connection between arithmetic and logical correlation functions in oriented basis into the matrix form. Comparative analysis is conducted for the computational complexity of different types of autocorrelation functions using different spectral methods — Fourier, Walsh, and oriented basis transform.

Keywords: spectral transform, autocorrelation function, Fourier transform, Walsh transform, spectral transform at oriented basis.

A lot of research tasks contain the stage of finding the repeating intervals of the signal or defining the main frequency of the signal against the background of non-stationary noise. To solve these tasks, the analysis based on the autocorrelation function (ACF) calculation is used [1—3].

Correlation analysis is included as necessary stage in many tasks of signal processing, recognition and prediction, as well as of studying transient and steady regimes in electronic schemes. Triple logic could be used in different applications, including third state control of electronic components, three-position electronic devices, switches, etc. That is why mathematical methods that are able to operate with triple logics could be helpful and promising in terms of computational speed and simplicity. These methods could even be implemented in specialized digital signal processors (DSP) and field-programmable gate arrays (FPGA) in order to increase their effectiveness and operation speed.

Moreover, the task of motor diagnostics in many cases could come down to revealing the periodical components against the background noise. In this case, it is necessary to study the ACF — the presence of the highest autocorrelation coefficient of τ^{th} order indicates that the time dependence of the analyzed function contains cyclic oscillation with the period τ .

Using the spectral transforms involves the following procedure: 1) calculate the image (spectrum) function from the dataset represented by N digits of the signal — based on direct fast transform (Walsh or oriented basis (OB) transform [4]); 2) calculate the ACF spectrum; 3) apply the reverse fast transform from the ACF spectrum. Thus, dyadic or m -ary ACF will be found. In order to get arithmetic ACF, it is necessary to convert obtained Walsh or OB spectrum into Fourier spectrum. In [5—7],

the connection was shown between the arithmetic and logical correlation functions in matrix form for Walsh and OB methods, respectively. However, there was no generalized case for diagonal matrix.

The aim of this study is to increase the processing speed of the control and analysis algorithms based on integer processors by reducing the computational complexity by finding an algorithm for transforming the connection between arithmetic and logical correlation functions in OB into the matrix form.

Calculation of ACF in matrix form

Logical autocorrelation function defined in OB takes the following form:

$$P_x(\tau) = \frac{1}{N^2} \sum_{p=1}^N \sum_{t=0}^{N-1} x_p(\tau) x_p\left(t \oplus_3 \tau\right), \quad (1)$$

where $x_p(\tau)$ is one of the set of realizations of the random process $x(t)$;

N is the number of discrete digits in $x(t)$;

\oplus_3 is the operation of addition by module 3 [8].

Thus, logical ACF could be defined as the average of N different m -ary ACF calculated in OB basis:

$$P_{\text{OB}}(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{p=1}^N x_p(\tau) x_p\left(t \oplus_3 \tau\right). \quad (2)$$

If the following equation is correct

$$x_p(\tau) = x(\tau + p),$$

the logical ACF takes the following form:

$$P_x(\tau) = \frac{1}{N^2} \sum_{p=1}^N \sum_{t=0}^{N-1} x_p(t + p) x_p\left(\left(t \oplus_3 \tau\right) + p\right). \quad (3)$$

Analogously to the Gibbs formula for Walsh method [9], let us define the connection between the arithmetic correlation function and the logical one for the OB method:

$$P_x(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{t=0}^{N-1} R_x \left[\left(t \oplus_3 \tau \right) \theta t \right]. \quad (4)$$

Let us transform the calculation into the matrix form:

$$\|P_x(\tau)\| = \|A\| \cdot \|R_x(\tau)\|. \quad (5)$$

We propose the algorithm to transform the system (3) defining the connection between arithmetic and logical correlation functions in OB basis into the matrix form (5). First, let us compose the matrix of the arguments of the function $\|R_x(\tau)\|$. If $N = 9$, the matrix $\|R_x(\tau)\|$ will be as follows:

$$\|R_x(\tau)\| = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 7 & 1 & 1 & 7 & 1 & 1 & 7 \\ 2 & 8 & 8 & 2 & 8 & 8 & 2 & 8 & 8 \\ 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 \\ 4 & 4 & 1 & 4 & 4 & 1 & 4 & 4 & 1 \\ 5 & 2 & 2 & 5 & 2 & 2 & 5 & 2 & 2 \\ 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 \\ 7 & 7 & 4 & 7 & 7 & 4 & 7 & 7 & 4 \\ 8 & 5 & 5 & 8 & 5 & 5 & 8 & 5 & 5 \end{vmatrix}.$$

Each (i, j) element of the matrix $\|A\|$ is defined as a sum of the elements equal to j in i^{th} row of the matrix $\|R_x(\tau)\|$ ($i, j = 0, \dots, N-1$). In our case, the matrix $\|A\|$ equals

$$\|A\| = \begin{vmatrix} 9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6 \\ 0 & 0 & 0 & 9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 & 0 & 6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 6 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 9 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6 & 0 & 0 & 3 \end{vmatrix}.$$

The matrix $\|A\|$ contains only one non-zero element in 0^{th} row, i.e., $(0, 0) = 9$, because the corresponding 0^{th} row of the matrix $\|R_x(\tau)\|$ contains 9 zeros. The first row of the matrix $\|A\|$ contains 2 non-zero elements: $(1, 1) = 6$ and $(1, 7) = 3$, since the corresponding 1^{st} row of the matrix $\|R_x(\tau)\|$ contains six “1” and three “7”.

Let us represent the matrix $\|A\|$ in the form of multiplication of diagonal matrix $\|D\|$ and transforming matrix $\|T\|$. From the view of the matrix $\|A\|$ it is evident that the

elements of the diagonal matrix $\|D\|$ should correspond to the following expression:

$$d_{kk} = 2^{S_{k1} + S_{k2} - \delta(k,m)} \cdot 3^{1 - S_{k1} - S_{k2} - \delta(k,0)}, \quad (6)$$

where S_{k1} is the number of “1” in 3-ary representation of the value k ;

S_{k2} is the number of “2” in 3-ary representation of the value k ;

$\delta(k, i)$ is the Kronecker delta function,

$$\delta(k, i) = \begin{cases} 1 & \text{for } k = i; \\ 0 & \text{for } k \neq i; \end{cases}$$

$$k = 0, 1, 2, \dots, N - 1.$$

Let us compose the diagonal matrix $\|D\|$ with the elements from the main diagonal that meet condition (3), i.e.

$$\|D\| = \|\text{diag}(d_{kk})\|.$$

Then one could write as follows:

$$\|A\| = \|D\| \cdot \|T\|,$$

where $\|T\|$ is the transforming matrix with the dimension $N \times N$ and “1” in the main diagonal. Then (4) in matrix form will be as follows:

$$\|P_x(\tau)\| = \|D\| \cdot \|T\| \cdot \|R_x(\tau)\|. \quad (7)$$

Let us find transforming matrices $\|T\|$ for the partial cases at the intervals $N = 3$ and 9 and define the common formulas for obtaining these matrices.

For $N = 3$, the equation (7) will be

$$\begin{aligned} \|P_x(\tau)\| &= \|D\| \cdot \|T\| \cdot \|R_x(\tau)\| = \\ &= \begin{vmatrix} 3 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 0 & 2 & 1 \end{vmatrix} \cdot \|R_x(\tau)\| = \\ &= \frac{1}{3} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0,667 & 0 \\ 0 & 0 & 0,333 \end{vmatrix} \times \\ &\times \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0,5 \\ 0 & 2 & 1 \end{vmatrix} \cdot \|R_x(\tau)\|. \end{aligned}$$

For $N = 9$ it will be

$$\|P_x(\tau)\| = \begin{vmatrix} 9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6 \\ 0 & 0 & 0 & 9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 & 0 & 6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 6 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 9 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6 & 0 & 0 & 3 \end{vmatrix} \cdot \|R_x(\tau)\|,$$

and the matrix $\|R_x(\tau)\|$ will be defined as

$$\|R_x(\tau)\| = \frac{1}{9} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2/3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2/3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2/3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/3 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Similarly, it could be done for $N = 27$ and further. Analysis of the transforming matrices $\|T\|$ shows that for all considered cases they have the same structure. It gives the possibility to get the following recurrent formula

$$\|T(\alpha)\| = \begin{pmatrix} \|T'(\alpha-1)\| & 0 & \|E(\alpha-1)\| \\ 0,5 \cdot \|E(\alpha-1)\| & \|T'(\alpha-1)\| & 0 \\ 0 & 2 \cdot \|E(\alpha-1)\| & \|T'(\alpha-1)\| \end{pmatrix}, \quad (8)$$

where $\|T'(\alpha-1)\|$ is the triangle matrix that is formed from the corresponding matrix $\|T(\alpha-1)\|$ when all elements of the main diagonal are replaced by "0";

$\|E(\alpha)\|$ is subsidiary matrix that is the component of $\|T(\alpha)\|$;

α is the step of recurrent formula.

Elements of the matrix $\|E(\alpha-1)\|$ could be found from the equation

$$\|E(\alpha)\| = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \|E(\alpha-1)\| \\ 0,5 \cdot \|E(\alpha-1)\| & 0,5 \cdot \|T'(\alpha-1)\| & 0 \\ 0 & 2 \cdot \|E(\alpha-1)\| & 2 \cdot \|T'(\alpha-1)\| \end{pmatrix}. \quad (9)$$

First values of recurrent matrices are defined by equations

$$T(0) = 1, E(0) = 0.$$

For example, if $\alpha = 2$, the matrices have the following form:

$$\|T(1)\| = \begin{pmatrix} \|T'(0)\| & 0 & \|E(0)\| \\ 0,5 \cdot \|E(0)\| & \|T'(0)\| & 0 \\ 0 & 2 \cdot \|E(0)\| & \|T'(0)\| \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix};$$

$$\|E(1)\| = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \|E(0)\| \\ 0,5 \cdot \|E(0)\| & 0,5 \cdot \|T'(0)\| & 0 \\ 0 & 2 \cdot \|E(0)\| & 2 \cdot \|T'(0)\| \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,5 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \end{pmatrix};$$

$$\|T(2)\| = \begin{pmatrix} \|T'(1)\| & 0 & \|E(1)\| \\ 0,5 \cdot \|E(1)\| & \|T'(1)\| & 0 \\ 0 & 2 \cdot \|E(1)\| & \|T'(1)\| \end{pmatrix}.$$

From the equation (4) arithmetic correlation function could be found as

$$\|R_x(\tau)\| = \|T\|^{-1} \|D\|^{-1} \|P_x(\tau)\|. \quad (10)$$

Comparative analysis

Let us compare the ACF computational complexity using Fourier and Vilenkin – Krestenson functions (VKF), as well as Walsh and direct and reverse OB transforms (using fast algorithms). Estimation of the number of non-trivial arithmetic operations during the calculation of the spectra of Fourier, Walsh, OB transforms for the two variants [8] and VKF-Paley based transform is described in [10—11].

The numbers of calculation operations is defined as follows:

$$Q_{\text{Fourier}} = k(4N \log_2 N + 4N); \quad (11)$$

$$Q_{\text{VKF}} = k \left[N(m-1) \left(1 + \frac{m-1}{m} \right) \log_m N \right]; \quad (12)$$

$$Q_{\text{Walsh}} = N \log_2 N + N; \quad (13)$$

$$Q_{\text{OBdirect}} = m^{n-1} n \left[\left(\frac{m+1}{2} - 1 \right)^2 + m(m-1) \right]; \quad (14)$$

$$Q_{\text{OBreverse}} = m^{n-1} n \left[\frac{(m-3)^2}{4} + m(m-2) \right], \quad (15)$$

where Q_{Fourier} , Q_{VKF} , Q_{Walsh} , Q_{OBdirect} , $Q_{\text{OBreverse}}$ are numbers of operations for Fourier, VKF-Paley, Walsh, direct and reverse OB accordingly; k is the computational complexity ratio while processing fractional numbers compared to integers.

By "non-trivial operation" we mean the elimination of the operations with zero matrix elements.

In this case we also eliminate from the total number of arithmetic operations the addition with zero, multiplication by “+1” or by “-1”.

At $m = 3$, we obtain

$$Q_{OB_{direct}} = \frac{7N}{3} \log_3 N; \tag{16}$$

$$Q_{OB_{reverse}} = 2N \log_3 N. \tag{17}$$

The calculation of ACF for the Walsh method requires two transform procedures, for the Fourier method by (3) — three procedures. Calculation of the m -ary ACF for different modifications of the OB method needs 3 procedures in total.

ACF computational complexity for spectral methods transforms at $m = 3$ is shown in the **Table**.

ACF computational complexity for fast spectral methods

Transform (spectral method)	Amount of calculation operations for arithmetic, dyadic or m -ary ACF
Fourier	$3k(27,96N \log_3 N + 4N)$
VKF-Paley	$27,96N \log_3 N + 4N$
Walsh	$2N \log_2 N + 2N$
OB (direct)	$6,66N \log_3 N$
OB (reverse)	$6,66N \log_3 N$

Coefficient k in the equation for Fourier transform reflects the computational complexity ratio while calculating fractional numbers compared to integers. It depends on the microprocessor/microcontroller realization. For example, for the modern ARM processors with FPU like STM32F407V, k can be taken as “1”, for integer processors like Atmel, k lies between 10 and 20, depending on program realization and assigned processing exactness. **Fig. 1** shows the dependence of the computational complexity on the interval N at $k = 10$.

Fig. 1 demonstrates that the computational complexity of dyadic and m -ary ACFs is far lower than that of the arithmetic one for Fourier transform. At $N > 100$, the computational complexity for the dyadic ACF is 65 to 68 times lower for Walsh and 32 to 34 times lower for OB.

However, the exact calculation of ACF needs the calculation of N dyadic or m -ary ones. Then for $N > 67$ (for Walsh) or $N > 33$ (for OB) this advantage disappears.

The computational complexity could be decreased significantly by decreasing the number of dyadic (for Walsh) or m -ary (for OB) ACFs that are included into the logical ACF equation [8]. Such calculation will be approximate. In order to estimate the minimum necessary dyadic or m -ary ACFs, the modeling of quazi-stationery processes were made. During this, the coefficient of similarity of exact and approximate ACF was estimated. It should be indicated that approximate functions could

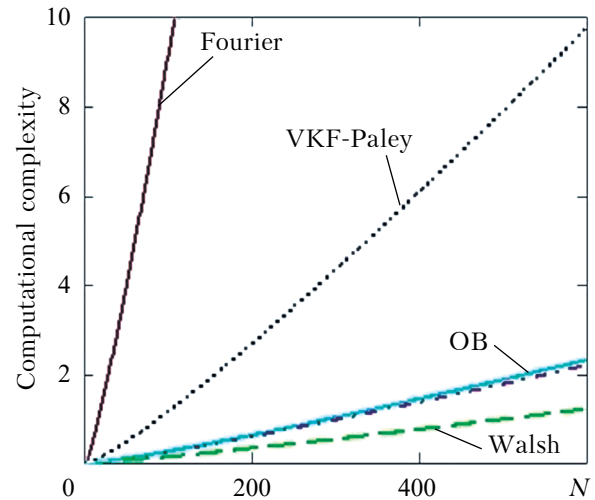


Fig. 1. ACF computational complexity for different computational types on the interval N (arithmetic — for Fourier transform; dyadic — for Walsh, m -ary for OB transform, VKF-Paley)

be successfully used in order to investigate the functions described above as well as for finding the repeating sectors or estimating the carrier signal frequency under the noises and oscillations of different frequencies. The lower is the computational complexity, the faster are the control and analysis algorithms based on integer processors. This factor is very important in real-time data processing systems, i.e., in the systems of power stations diagnostics where decreasing the time of revealing the pre-emergency state and decision-making are of particular essence [12]. It also has an undoubted advantage in signal transmitting systems and in the tasks where it is necessary to reveal the periodical sectors in time series [13—14].

Conclusions

Thus, the research allowed establishing the connection between arithmetic and logical correlation functions for the oriented basis method and to propose an algorithm for its transformation into the matrix form.

It is shown that computational complexity of the dyadic and m -ary autocorrelation functions is significantly lower than that of the arithmetic ones (for Fourier transform). At $N > 100$, the computational complexity of the dyadic autocorrelation function is 65—68 times lower (for the Walsh method) and 32—34 times lower (for the OB transform).

REFERENCES

- Allen R.L., Mills D.W. *Signal Analysis: Time, Frequency, Scale, and Structure*. Wiley-IEEE Press, 2004, 966 p. <http://pselab.ru/Books/Allen.pdf>
- Kapinchev K., Bradu A., Barnes F., Podoleanu A. GPU implementation of cross-correlation for image generation in real time. *9th International Conference on Signal Processing and Communication Systems (ICSPCS)*. 2015, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICSPCS.2015.7391783>.

3. Penny W. D. *Signal Processing Course*, 2000. <https://www.fil.ion.ucl.ac.uk/~wpenny/course/course.pdf>
4. Tereshchenko T., Lazariev D. The definition of cyclic convolution based on radix-m argument spectral transform. *Electronics and Nanotechnology. Proceeding of the XXXII International Scientific Conference ELNANO 2012*. Ukraine, Kyiv, 2012, pp. 92–93.
5. Tereshchenko T. A., Laikova L. G., Parkhomenko A. S. Methods for determining an autocorrelation function using Walsh transform. *Tekhnichna elektrodynamika*, 2014, no 5, pp. 104–106. http://techned.org.ua/2014_5/st34.pdf, http://nbuv.gov.ua/UJRN/TED_2014_5_36. (Rus)
6. Chegolin L.M. [Matrix communication operators of arithmetic and logical correlation functions]. *Vychislitel'naya tekhnika v mashinostroyenii*, 1973, pp. 129–137. (Rus)
7. Tereshchenko T., Khyzhniak T., Laikova L., Parkhomenko A. Research of autocorrelation function using the transformation in oriented basis. *Tekhnichna elektrodynamika*, 2016, no 4, pp. 29–31. <https://doi.org/10.15407/techned2016.04.029>. (Rus)
8. Zhuykov V., Tereshchenko T., Petergerya U. *Preobrazovaniya diskretnykh signalov na konechnykh intervalakh v oriyentirovannom bazise* [Transformations of discrete signals at finite intervals in an oriented basis]. Kyiv, Avers, 2004, p. 274. (Rus)
9. Gibbs J. E., Pichler F. R. Comments on Transformation of "Fourier" Power Spectra into "Walsh" Power Spectra. *IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility*, 1971, vol. EMC-13, no 3, pp. 51–55.
10. Syuzev V. V. [Synthesis methods of the fast Vilenkin – Chrestenson transforms]. *Nauka I obrazovaniye*, 2014, no 1, pp. 159–187. <http://technomag.edu.ru/doc/687462.html>. (Rus)
11. Demyanik D. Program realization of fast Fourier transforms in basis of Vilenkin – Krestenson functions. *International scientific journal «Electronics and Control Systems»*, 2010, vol. 1, no 23. <https://doi.org/10.18372/1990-5548.23.760>. <http://jml.nau.edu.ua/index.php/ESU/article/view/760>
12. Dmitriev E. A., Malakhov V. P. [Application of the Walsh transform in systems for processing diagnostic information about the state of rotary machines]. *Pratsi Odes'koho politekhnichnoho universytetu*, 2001, vol. 1, pp. 135–137. (Rus)
13. Puech T., Boussard M., D'Amato A. A fully automated periodicity detection in time series. *International Workshop*, Springer, 2019. https://project.inria.fr/aaltd19/files/2019/08/AALTD_19_Boussard.pdf
14. Yuan Q., Shang J., Cao X. et al. Detecting multiple periods and periodic patterns in event time sequences. In: *Proceedings of the 2017 ACM on Conference on Information and Knowledge Management, USA*, New York, 2017, pp. 617–626. <https://experts.illinois.edu/en/publications/detecting-multiple-periods-and-periodic-patterns-in-event-time-se>

Received 16.06 2020

DOI: 10.15222/ТКЕА2020.3-4.11
УДК 681.325

Л. Г. ЛАЙКОВА, Т. О. ТЕРЕЩЕНКО,
Ю. С. ЯМНЕНКО

Україна, Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»
E-mail: laikova@ukr.net

МАТРИЧНІ СПОСОБИ ОБЧИСЛЕННЯ КОРЕЛЯЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧАСОВИХ РЯДІВ ЗА ДОПОМОГОЮ СПЕКТРАЛЬНИХ МЕТОДІВ

Статтю присвячено проблемі обчислення функції автокореляції, яка є важливою при вирішенні завдань знаходження повторюваних інтервалів сигналу або визначення основної частоти сигналу на тлі нестационарного шуму. Метою даної роботи є збільшення швидкості алгоритмів управління та аналізу, які реалізуються цілочисельними процесорами, за рахунок зменшення трудомісткості процесу обчислення.

Запропоновано алгоритм перетворення системи рівнянь, що визначають зв'язок між арифметичною і логічною кореляційними функціями в базисі функцій на основі орієнтованого базиса (ОБ), в матричну форму. Порівняно трудомісткість обчислення АКФ за допомогою перетворень Фур'є, Уолша та ОБ для двох варіантів у випадку застосування швидких алгоритмів.

Показано, що трудомісткість знаходження діагностичних АКФ та m -АКФ значно менша за арифметичні АКФ (перетворення Фур'є): при $N > 100$ вона у 65–68 разів менша для перетворення Уолша та у 32–34 для перетворення ОБ.

Показано, що трудомісткість обчислення АКФ можна суттєво зменшити, якщо зменшити число діагностичних (у випадку Уолша) або m -АКФ (у випадку ОБ), що входять у вираз логічної АКФ, але таке обчислення буде приблизним. Для визначення достатнього для заданої точності знаходження мінімального числа діагностичних АКФ (m -АКФ) проведено моделювання квазістационарних процесів, при цьому оцінювався коефіцієнт подібності точної і наближених АКФ. Для цілей дослідження функцій, як-то знаходження повторюваних ділянок сигналу або визначення несучої частоти сигналу, прихованої через накладення шуму і коливань на інших частотах, можна застосовувати і приблизно знайдені функції. Менша трудомісткість обумовлює більшу швидкість алгоритмів діагностики на базі цілочисельних мікропроцесорів. Цей фактор є важливим для таких систем обробки даних у реальному часі як, наприклад, системи діагностування енергетичних установок, де зменшення часу виявлення передавального стану та прийняття рішення має надзвичайно важливе значення.

Ключові слова: спектральні перетворення, функція автокореляції, перетворення Фур'є, перетворення Уолша, спектральні перетворення в орієнтованому базисі.

Украина, Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского»
E-mail: laikova@ukr.net

МАТРИЧНЫЕ СПОСОБЫ ВЫЧИСЛЕНИЯ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ С ПОМОЩЬЮ СПЕКТРАЛЬНЫХ МЕТОДОВ

Статья посвящена проблеме вычисления функции автокорреляции, которая важна при решении задач нахождения повторяющихся интервалов сигнала или определения основной частоты сигнала на фоне нестационарного шума. Целью данной работы является увеличение скорости алгоритмов управления и анализа, которые реализуются целочисленными процессорами, за счет уменьшения трудоемкости процесса вычисления.

Предложен алгоритм преобразования системы уравнений, определяющих связь между арифметической и логической корреляционными функциями в базе функций ориентированного базиса (ОБ), в матричную форму. Проведено сравнение трудоемкости вычисления АКФ с помощью преобразований Фурье, Уолша и двух вариантов ОБ в случае применения быстрых алгоритмов. Показано, что трудоемкость нахождения диадных АКФ и m -АКФ значительно меньше, чем арифметических АКФ (преобразование Фурье): при $N > 100$ она в 65–68 раз меньше для преобразования Уолша и в 32–34 раза для преобразования ОБ.

Трудоемкость вычисления АКФ можно существенно уменьшить, если уменьшить число диадных АКФ (в случае Уолша) или m -АКФ (в случае ОБ), входящих в выражение логической АКФ, однако такое вычисление будет приближительным. Для определения достаточного для заданной точности вычисления минимального числа диадных АКФ (m -АКФ) проведено моделирование квазистационарных процессов, при этом оценивался коэффициент сходства точной и приближенных АКФ. С целью исследования таких функций, как нахождение повторяющихся участков сигнала или определения несущей частоты сигнала, скрытой за наложением шума и колебаний на других частотах, можно применять и приближительно найденные функции. Меньшая трудоемкость обуславливает большее быстроедействие алгоритмов диагностики на базе целочисленных микропроцессоров. Этот фактор важен в системах обработки данных в режиме реального времени, таких как, например, системы диагностики энергетических установок, где уменьшение времени выявления предаварийного состояния и принятия решения имеет огромное значение.

Ключевые слова: спектральные преобразования, функция автокорреляции, преобразования Фурье, преобразования Уолша, спектральные преобразования в ориентированном базисе.

Опис статті для цитування:

Лайкова Л. Г., Терещенко Т. О., Ямненко Ю. С. Матричні способи обчислення кореляційних характеристик часових рядів за допомогою спектральних методів. *Технологія і конструювання в електронній апаратурі*, 2020, № 3–4, с. 11–16. <http://dx.doi.org/10.15222/ТКЕА2020.3-4.11>

Cite the article as:

Laikova L., Tereshchenko T., Yamnenko Y. Matrix calculation of correlation characteristics of time charts based on spectral methods. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2020, no. 3–4, pp. 11–16. <http://dx.doi.org/10.15222/ТКЕА2020.3-4.11>