

Рис.5в. Рестаурований сигнал 1

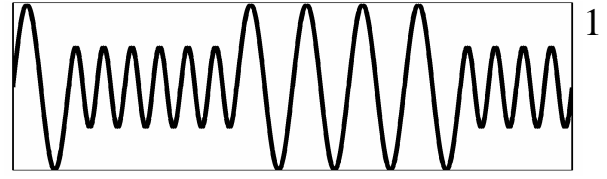


Рис. 6а. Тестовий сигнал 2

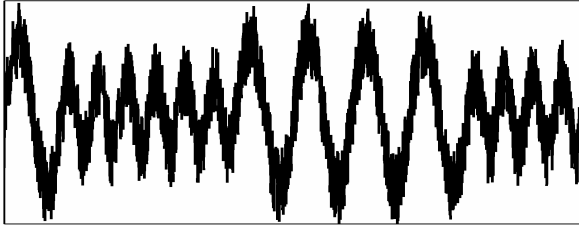


Рис.6б. Спотворений сигнал 2

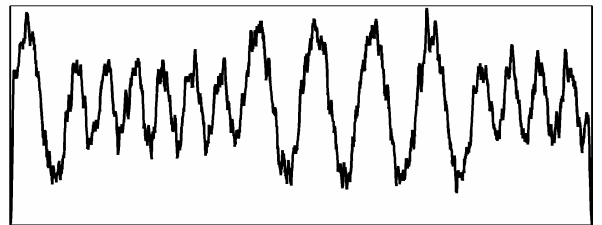


Рис.6в. Рестаурований сигнал 2

Література

1. Абакумов В.Г Сватош Й.А. Рибін О.І. Біомедичні сигнали (генезис, обробка, моніторинг) — Київ: Нора -Прінт, 2001
2. Publications of technical and scientific papers of the technical university in Brno — Brno, Svazek A-46, 1991
3. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: Пер. с англ. — М.: Мир, 1982

Ключові слова: деконволюція, образ, реставрація, імпульсна характеристика, фільтрація

Наталенко С.С.

Деконволюция за критерием остроты импульсной характеристики при обработке образа в натуральных координатах

Показано обновление деконволюции за критерием формы результирующей импульсной характеристики. Обновление заключается в изменении функции штрафов. Алгоритм реализован в области натуральных координат

Natalenko S.

Deconvolution by sharpness of impulse response characteristic at processing of image in natural coordinates

Revision of the Deconvolution by criteria of the form of impulse response characteristic at processing of image is shown in the article. Revision lies in the changing of the fine function use. Algorithm is implemented in the domain of natural coordinates

УДК 621.372.061

АЛГОРИТМ ФОРМУВАННЯ МАТРИЧНОГО ОПЕРАТОРА ДИСКРЕТНОГО НОРМАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ

Рибін О.І., Ніжебецька Ю.Х.

Запропоновано алгоритм безпосереднього створення матричного оператора дискретного нормального перетворення, що виключає покрокове формування матриці

Розв'язання задачі класифікації сигналів часто-густо проводять із використанням ортогональних перетворень [1-5]. Але тестові сигнали рідко збігаються за формою з будь-якою трансформантою відомих ортогональних перетворень. Це вносить свої незручності у проведення оцінки подібності досліджуваного і тестового сигналу. Для вирішення таких задач запропоновано нормальне дискретне перетворення (НП), для якого одна із трансформант збігається із заданим дискретним сигналом довільної форми, а, отже, спектр такого перетворення містить лише одну ненульову складову при співпадінні досліджуваного сигналу з тестовим, тоді як поява інших складових у спектрі свідчить про їх відмінності. Процес формування мат-

риці НП зводиться до створення операторів часткових перетворень, кожне з яких зменшує кількість ненульових складових у спектрі тестового сигналу вдвічі. Слід зазначити, що при форматі N вхідного сигналу ($N = 2^n$, де n – ціле число), кількість кроків формування матриць часткових перетворень дорівнюватиме n , отже при реалізації такого способу отримання матриці НП на ПЕОМ може накопичуватися операційна похибка. Тому слід розглянути можливість створення алгоритму безпосереднього генерування матриці НП, не вдаючись до створення операторів проміжних стадій.

Нагадаємо, що при покроковому формуванні матриці НП деякого формату $N = 2^n$, де n – ціле число, в основу якого покладено дискретні відліки тестового сигналу \bar{X} , результуючий оператор перетворення ми одержали як добуток операторів часткових перетворень. Так, для формату $N = 4$ маємо тестовий сигнал у вигляді $\bar{X} = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4]^T$, і матриця НП матиме вигляд добутку $\overline{\overline{W}}_{2N} = \overline{\overline{W}}_{2N} \overline{\overline{W}}_{1N}$, де $\overline{\overline{W}}_{1N}$ та $\overline{\overline{W}}_{2N}$ – оператори покрокових перетворень, що для заданого N мають вигляд:

$$\overline{\overline{W}}_{1N} = \begin{bmatrix} \frac{x_1}{\sqrt{x_1^2 + x_2^2}} & \frac{x_2}{\sqrt{x_1^2 + x_2^2}} & 0 & 0 \\ -\frac{x_2}{\sqrt{x_1^2 + x_2^2}} & \frac{x_1}{\sqrt{x_1^2 + x_2^2}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{x_3}{\sqrt{x_3^2 + x_4^2}} & \frac{x_4}{\sqrt{x_3^2 + x_4^2}} \\ 0 & 0 & -\frac{x_4}{\sqrt{x_3^2 + x_4^2}} & \frac{x_3}{\sqrt{x_3^2 + x_4^2}} \end{bmatrix},$$

$$\overline{\overline{W}}_{2N} = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{x_1^2 + x_2^2}}{\sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2}} & 0 & \frac{\sqrt{x_3^2 + x_4^2}}{\sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2}} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2}} & 0 & 0 \\ \frac{-\sqrt{x_3^2 + x_4^2}}{\sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2}} & 0 & \frac{\sqrt{x_1^2 + x_2^2}}{\sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2}} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Зберігаючи ортогональність рядків, матрицю $\overline{\overline{W}}_{2N}$ можна подати як:

$$\overline{\overline{W}}_{2N} = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{x_1^2 + x_2^2}}{\sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2}} & 0 & \frac{\sqrt{x_3^2 + x_4^2}}{\sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2}} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2}} & 0 & \frac{1}{\sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2}} \\ \frac{-\sqrt{x_3^2 + x_4^2}}{\sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2}} & 0 & \frac{\sqrt{x_1^2 + x_2^2}}{\sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2}} & 0 \\ 0 & \frac{-1}{\sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2}} & 0 & \frac{1}{\sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2}} \end{bmatrix}, \text{ або}$$

$$\overline{\overline{W}}_{2N} = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{x_1^2+x_2^2}}{\sqrt{x_1^2+x_2^2+x_3^2+x_4^2}} & 0 & \frac{\sqrt{x_3^2+x_4^2}}{\sqrt{x_1^2+x_2^2+x_3^2+x_4^2}} & 0 \\ 0 & \frac{\sqrt{x_1^2+x_2^2}}{\sqrt{x_1^2+x_2^2+x_3^2+x_4^2}} & 0 & \frac{\sqrt{x_3^2+x_4^2}}{\sqrt{x_1^2+x_2^2+x_3^2+x_4^2}} \\ \frac{-\sqrt{x_3^2+x_4^2}}{\sqrt{x_1^2+x_2^2+x_3^2+x_4^2}} & 0 & \frac{\sqrt{x_1^2+x_2^2}}{\sqrt{x_1^2+x_2^2+x_3^2+x_4^2}} & 0 \\ 0 & \frac{-\sqrt{x_3^2+x_4^2}}{\sqrt{x_1^2+x_2^2+x_3^2+x_4^2}} & 0 & \frac{\sqrt{x_1^2+x_2^2}}{\sqrt{x_1^2+x_2^2+x_3^2+x_4^2}} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

При цьому спектр тестового сигналу так само матиме єдину складову в базисі запропонованого перетворення, а відмінність між результуючими операторами перетворень полягатиме у тому, що при використанні виразу (1) матриця НП матиме у складі своїх трансформант “нулі”, кількість яких буде різнитися від рядка до рядка, тоді як при використанні виразу (2) всі комірочки матриці будуть заповнені ненульовими значеннями. Для зручності назовемо матричний оператор НП, що спирається на вираз (1) матричним оператором першого виду, а матричний оператор, що спирається на вираз (2) – матричним оператором другого виду. Відтак, для формату $N = 4$

матриця НП першого виду матиме вигляд:

$$\overline{\overline{W}}_{4N} = \begin{bmatrix} \frac{x_1}{A} & \frac{x_2}{A} & \frac{x_3}{A} & \frac{x_4}{A} \\ -\frac{x_2}{a} & \frac{x_1}{a} & 0 & 0 \\ \frac{-x_1b}{Aa} & \frac{-x_2b}{Aa} & \frac{x_3a}{Ab} & \frac{x_4a}{Ab} \\ 0 & 0 & -\frac{x_4}{b} & \frac{x_3}{b} \end{bmatrix},$$

а матриця НП другого виду - вигляд:

$$\overline{\overline{W}}_{4N} = \begin{bmatrix} \frac{x_1}{A} & \frac{x_2}{A} & \frac{x_3}{A} & \frac{x_4}{A} \\ -\frac{x_2}{A} & \frac{x_1}{A} & -\frac{x_4}{A} & \frac{x_3}{A} \\ \frac{-x_1b}{Aa} & \frac{-x_2b}{Aa} & \frac{x_3a}{Ab} & \frac{x_4a}{Ab} \\ \frac{x_2b}{Aa} & \frac{-x_1b}{Aa} & -\frac{x_4a}{Ab} & \frac{x_3a}{Ab} \end{bmatrix},$$

де $A = \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2}$; $a = \sqrt{x_1^2 + x_2^2}$; $b = \sqrt{x_3^2 + x_4^2}$.

Виходячи з розгляду символічних виразів матричних операторів різних порядків, алгоритм формування матриці НП має єдиний вигляд для кожного виду. Отже, запропонована процедура створення матричного оператора НП другого виду передбачає наступні кроки:

1. Генерувати матрицю \overline{W}_i Адамара N -го порядку, знаки одиниць якої (+1 чи -1) будуть відповідати знакам елементів, що містяться у відповідних клітинах матриці НП.

2. Помножити елементи матриці Адамара на дискретні відліки сигналу $\overline{X} = [x_1, x_2, \dots, x_N]^T$, при чому в усіх непарних рядках (відлік рядків та сто-

впців ведемо з одиниці) порядок розташування елементів x_i вектору \overline{X} залишити незмінним, тоді як в усіх парних рядках в кожній парі дискретних відліків їх позиції поміняти місцями, тобто $(x_2 x_1, x_4 x_3, \dots, x_N x_{N-1})$. Після проведення цих операцій одержимо матрицю \overline{W}_x .

3. Обчислити коефіцієнти $\alpha_1^{(1)} = \sqrt{x_1^2 + x_2^2}$, $\alpha_2^{(1)} = \sqrt{x_3^2 + x_4^2}, \dots$, $\alpha_{N/2}^{(1)} = \sqrt{x_{N-1}^2 + x_N^2}$ для всіх пар відліків, починаючи з першої; $\alpha_1^{(2)} = \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2}$, $\alpha_2^{(2)} = \sqrt{x_5^2 + x_6^2 + x_7^2 + x_8^2}, \dots$, $\alpha_{N/4}^{(2)} = \sqrt{x_{N-3}^2 + x_{N-2}^2 + x_{N-1}^2 + x_N^2}$ для всіх часткових послідовностей по чотири відліки;

$\alpha_1^{(3)} = \sqrt{\sum_{i=1}^8 x_i^2}$, $\alpha_2^{(3)} = \sqrt{\sum_{i=1}^8 x_{i+8}^2}, \dots$, $\alpha_{N/8}^{(3)} = \sqrt{\sum_{i=1}^8 x_{N-i+1}^2}$ для всіх часткових послідовностей по вісім відліків з вектору \overline{X} і т.д., до $\alpha_1^{(n-1)} = \sqrt{\sum_{i=1}^N x_i^2}$, де $N = 2^n$.

4. Матрицю \overline{W}_x , одержану в п.2, помножити на коефіцієнти $\alpha_i^{(k)}$, а саме:

а) всі елементи матриці \overline{W}_x множаться на коефіцієнт $1/\alpha_1^{N-1}$;

б) з кожних чотирьох рядків для двох останніх (3-го та 4-го, 7-го та 8-го, 11-го та 12-го та ін. рядків) всі пари елементів, що утворюють часткові послідовності по чотири елементи множаться на коефіцієнт $\alpha_2^{(1)}/\alpha_1^{(1)}$ для першої пари першої четвірки та на $\alpha_1^{(1)}/\alpha_2^{(1)}$ для другої пари першої четвірки, на $\alpha_4^{(1)}/\alpha_3^{(1)}$ для першої пари другої четвірки та на $\alpha_3^{(1)}/\alpha_4^{(1)}$ для другої четвірки і т.д.. Остання четвірка множиться на $\alpha_{n/2}^{(1)}/\alpha_{n/2-1}^{(1)}$ (перша пара) та на $\alpha_{n/2-1}^{(1)}/\alpha_{n/2}^{(1)}$ (друга пара);

в) з кожних восьми рядків чотири останніх (5 - 8, 13 - 16, 21 - 24 та ін.) множаться по часовим послідовностям, утвореним з восьми елементів в першій четвірці першої вісімки кожного рядка на $\alpha_2^{(2)}/\alpha_1^{(2)}$ та в другій четвірці – на $\alpha_1^{(2)}/\alpha_2^{(2)}$. Для першої четвірки другої вісімки – на $\alpha_4^{(2)}/\alpha_3^{(2)}$ та на $\alpha_3^{(2)}/\alpha_4^{(2)}$ для другої четвірки і т.д.;

г) з кожних шістнадцяти рядків вісім останніх (9 - 16, 25 - 32 та ін.) для першої часткової послідовності (кожного рядка) з 16 елементів множаться на $\alpha_2^{(3)}/\alpha_1^{(3)}$ (перші вісім елементів рядка) та на $\alpha_1^{(3)}/\alpha_2^{(3)}$ друга вісімка першої групи з 16 елементів і т.д.;

д) останні $N/2$ рядка матриці множаться на $\alpha_2^{(n-2)}/\alpha_1^{(n-2)}$ для перших $N/2$ елементів кожного рядка та на $\alpha_1^{(n-2)}/\alpha_2^{(n-2)}$ - для останніх.

Наведемо деякі з трансформант матриці НП, отримані за допомогою описаного алгоритму, взявши за тестовий сигнал пульсограму (рис. 1), представлену на періоді у форматі $N=32$.

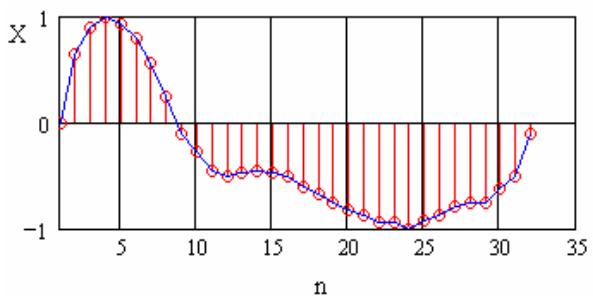


Рис.1

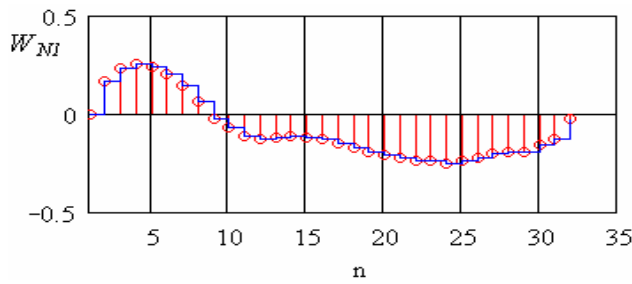


Рис. 2а

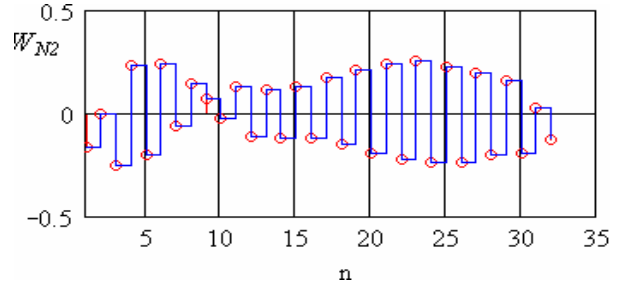


Рис. 2б

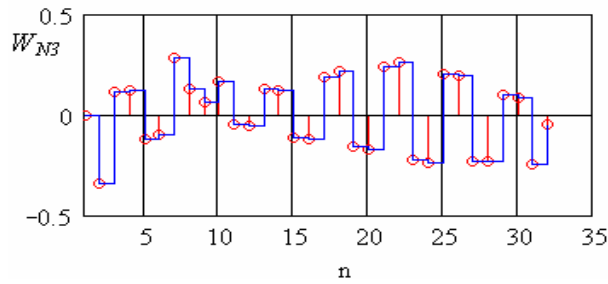


Рис. 2г

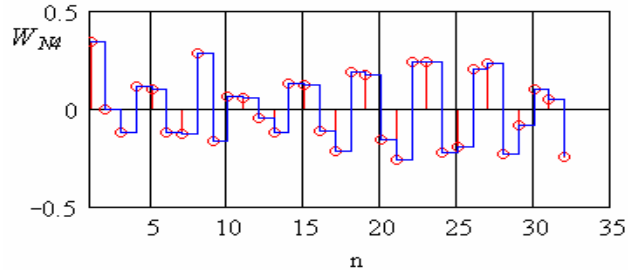


Рис. 2в

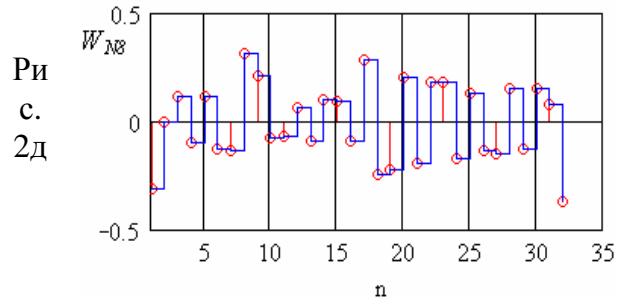
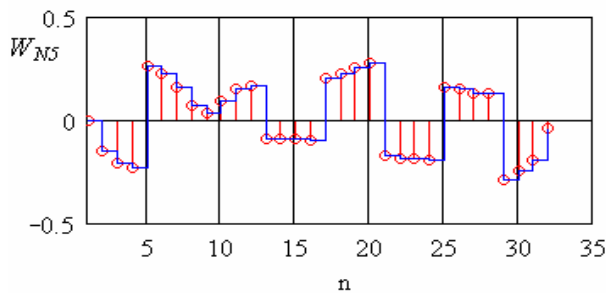


Рис. 2е

Рис.2. Трансформанти матриці НП другого виду(1 – 5, 8, 16)

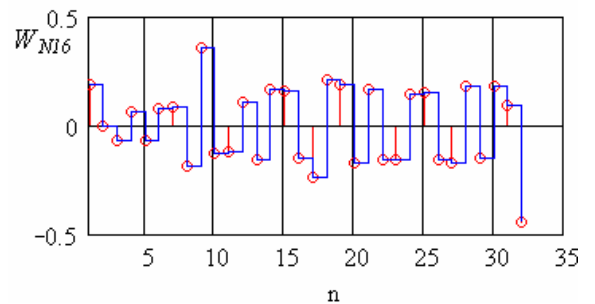


Рис. 2ж

Для ілюстрації роботи алгоритму складемо перевірочну табл.1, включивши до неї довільно вибрані елементи матриці з кожної із зображених на рис. 2 (а-ж) трансформант, наведемо їх значення та формулу обчислення.

Перейдемо до алгоритму створення матриці НП першого виду:

1. Обчислити кількість та визначити місце розташування ненульових елементів матриці наступним чином. Кількість ненульових елементів кожного рядка буде залежати від номеру рядку за наступним правилом: якщо число $(i-1)$, де i – номер відповідного рядку, без остачі ділиться на число $k/2$, де $k=2^n$, $n=1, 2, \dots, \log_2 N$, то цей рядок міститиме k ненульових

елементів. Так, для $N = 8$ 2-й, 4-й, 6-й і 8-й рядки матриці містять два, 3-й і 7-й рядки – чотири, а 1-й і 5-й – вісім елементів. Розташування елементів у рядку відбувається за певним законом. Група з k елементів, що міститься у даному рядку, зсувається на k позицій відносно першого елементу попередньої групи з такою ж кількістю елементів. Наприклад для $k = 2$ у другому рядку елементи займають 1-шу та 2-гу позиції, у четвертому рядку – 3-тю та 4-ту, у шостому рядку – 5-ту та 6-ту, а у восьмому – 7-му та 8-му позиції.

Таблиця 1

Елемент матриці	Формула обчислення	Значення
$X_{1,8}$	$X_8 / \sqrt{\sum_{i=1}^{32} X_i^2}$	0.064
$X_{2,3}$	$-X_4 / \sqrt{\sum_{i=1}^{32} X_i^2}$	-0.257
$X_{3,5}$	$-X_5 \sqrt{X_7^2 + X_8^2} / \sqrt{X_5^2 + X_6^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{32} X_i^2}$	-0.119
$X_{4,7}$	$-X_8 \sqrt{X_5^2 + X_6^2} / \sqrt{X_7^2 + X_8^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{32} X_i^2}$	-0.128
$X_{5,3}$	$-X_3 \sqrt{\sum_{i=4}^8 X_i^2} / \sqrt{\sum_{i=1}^4 X_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{32} X_i^2}$	-0.221
$X_{8,1}$	$-X_2 \sqrt{\sum_{i=3}^4 X_i^2} \sqrt{\sum_{i=5}^8 X_i^2} / \sqrt{\sum_{i=1}^2 X_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^4 X_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{32} X_i^2}$	-0.316
$X_{16,16}$	$X_{15} \sqrt{\sum_{i=13}^{14} X_i^2} \sqrt{\sum_{i=9}^{12} X_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^8 X_i^2} / \left(\sqrt{\sum_{i=15}^{16} X_i^2} \sqrt{\sum_{i=13}^{16} X_i^2} \sqrt{\sum_{i=9}^{16} X_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{32} X_i^2} \right)$	-0.151

2. Генерувати матрицю Хаара N -го порядку, знаки елементів якої будуть відповідати знакам множників (+1 або -1) перед вмістом відповідних клітин матриці нормального перетворення.

3. Помножити отриману матрицю з елементів 0, +1 та -1 на дискретні відліки сигналу \bar{X} , при чому в усіх непарних рядках (відлік рядків та стовпців починається з одиниці) порядок розташування елементів x_i вектору \bar{X} залишити незмінним, а в парних рядках в кожній парі дискретних відліків їх позиції поміняти місцями, тобто $(x_2 x_1, x_4 x_3, \dots, x_N x_{N-1})$. Внаслідок цих операцій одержимо матрицю \bar{W}_x .

4. Обчислити коефіцієнти ідентичні коефіцієнтам, що приведені у п.4 алгоритму створення матричного оператора НП другого виду.

5. Матрицю \bar{W}_x , одержану в п.2, помножити на коефіцієнти $\alpha_i^{(k)}$:

а) всі елементи 1-го рядку матриці \bar{W}_x множаться на коефіцієнт $1/\alpha_1^{(n-1)}$;

б) елементи всіх рядків з кількістю елементів $k=2$ множаться на коефіцієнт $1/\alpha_1^{(1)}$ для 2-го рядку, на $1/\alpha_2^{(1)}$ для 4-го рядку, на $1/\alpha_3^{(1)}$ для 6-го рядку, т.д.

в) рядки, що містять $k=4$ елементи множаться на коефіцієнти відповідно

$1/\alpha_1^{(2)}$ для 3-го рядку, на $1/\alpha_2^{(2)}$ для 7-го рядку, на $1/\alpha_3^{(2)}$ для 11-го рядку, т.д. При цьому перші два елементи з групи у 3-му рядку потрібно помножити на коефіцієнт $\alpha_2^{(1)}/\alpha_1^{(1)}$, а інші два – на коефіцієнт $\alpha_1^{(1)}/\alpha_2^{(1)}$; перші два елементи у 7-му рядку – на $\alpha_4^{(1)}/\alpha_3^{(1)}$, а інші два – на $\alpha_3^{(1)}/\alpha_4^{(1)}$ і т.д.;

г) для рядків, що містять $k=8$ елементів характерним є множник $1/\alpha_1^{(3)}$ для 5-го рядку, на $1/\alpha_2^{(3)}$ для 9-го рядку, на $1/\alpha_3^{(3)}$ для 13-го і т.д. До того ж перші чотири елементи 5-го рядка слід помножити на коефіцієнт $\alpha_2^{(2)}/\alpha_1^{(2)}$, а інші чотири – на коефіцієнт $\alpha_1^{(2)}/\alpha_2^{(2)}$, перші 4-и елементи 7-го рядка - на $\alpha_4^{(2)}/\alpha_3^{(2)}$, а інші 4-и -на $\alpha_3^{(2)}/\alpha_4^{(2)}$ і т.д.,

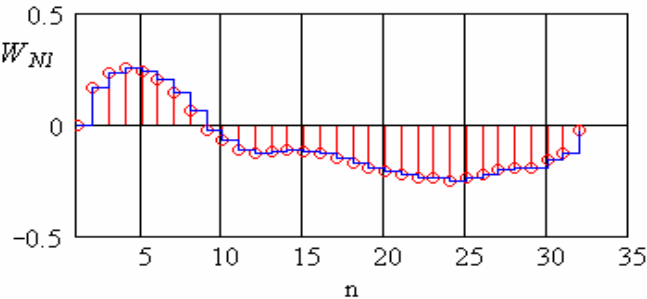


Рис. 3а

нарешті, рядки, що містять $k=N$ елементів множаться на коефіцієнт $1/\alpha_1^{(n-1)}$. Додатково перша їх половина містить множник $\alpha_2^{(n-2)}/\alpha_1^{(n-2)}$, а друга – множник $\alpha_1^{(n-2)}/\alpha_2^{(n-2)}$.

елементів множаться на коефіцієнт

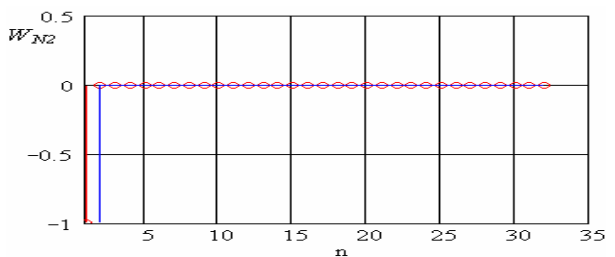


Рис. 3б

На рис. 3 (а-ж) подано деякі з транс-

формант матриці нормального перетворення першого виду, отримані за допомогою описаного вище алгоритму, взявши за тестовий сигнал пульсограму (рис.1). Для ілюстрації роботи алгоритму представимо перевірочну табл. 2, включивши до неї довільно вибрані елементи матриці з кожної із зображених на рис. 3 трансформант

Рис. 3в

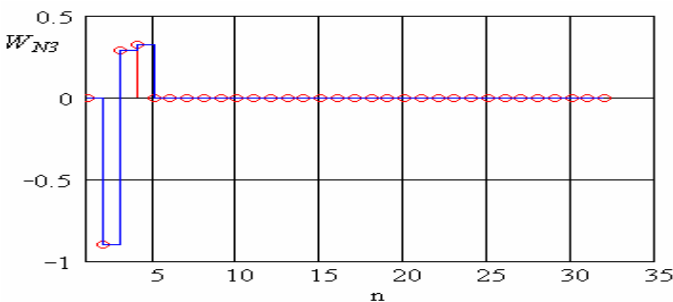
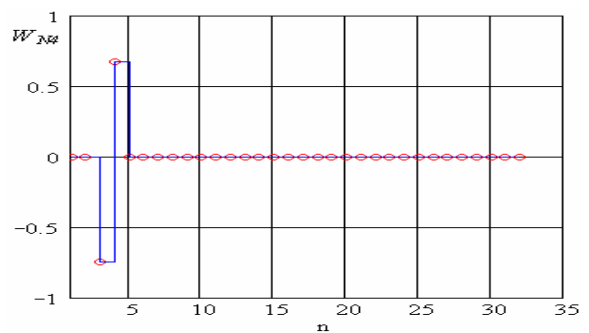


Рис. 3г



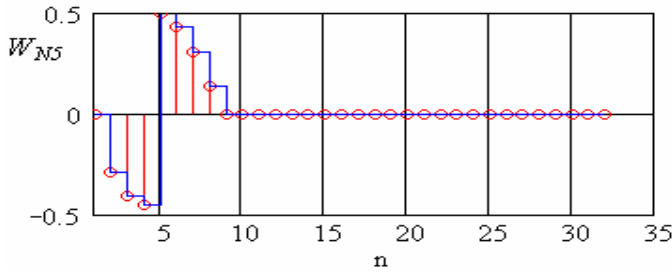


Рис. 3д

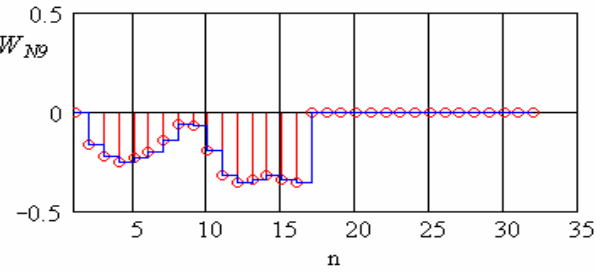


Рис. 3е

Рис.3. Трансформанти матриці НП першого виду (1 – 5, 9, 17)

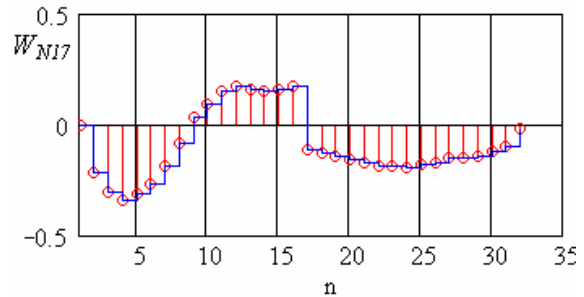


Рис. 3ж

Таблиця 2

Елем. матриці	Формула обчислення	Значення
$X_{1,5}$	$X_5 / \sqrt{\sum_{i=1}^{32} X_i^2}$	0.237
$X_{2,1}$	$-X_2 / \sqrt{X_1^2 + X_2^2}$	-1
$X_{3,3}$	$X_5 \sqrt{X_1^2 + X_2^2} / \left(\sqrt{X_3^2 + X_4^2} \sqrt{\sum_{i=1}^4 X_i^2} \right)$	0.291
$X_{4,3}$	$-X_4 / \sqrt{X_3^2 + X_4^2}$	-0.743
$X_{5,8}$	$X_8 \sqrt{\sum_{i=1}^4 X_i^2} / \left(\sqrt{\sum_{i=5}^8 X_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^8 X_i^2} \right)$	0.135
$X_{9,13}$	$X_{13} \sqrt{\sum_{i=1}^8 X_i^2} / \left(\sqrt{\sum_{i=9}^{16} X_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{16} X_i^2} \right)$	-0.34
$X_{17,31}$	$X_{32} \sqrt{\sum_{i=1}^{16} X_i^2} / \left(\sqrt{\sum_{i=16}^{32} X_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{32} X_i^2} \right)$	-0.019

Наведений алгоритм значно спрощує процедуру створення дискретного матричного оператора НП, легко програмується внаслідок формалізації, дозволяє уникнути накопичення операційної похибки, як це має місце при покроковому формуванні матричного оператора.

Література

1. Рыбин А.И. Нормализация дискретных ортогональных преобразований тестовым сигналом// Радиоэлектроника. 2004. №7. С.39-46.
2. Мельник А.Д., Рибін О.І. Нормалізація тестового сигналу із збереженням еквідистантного кроку дискретизації//Вісник НТУУ «КПІ». Радіотехніка, Радіоапаратобудування. 2007. Випуск 34. С.24-29.
3. Рибін О.І., Сакалош Т.В., Шарпан О.Б. Аналіз пульсограм на базі процедури нормалізації ортогональних перетворень REX//Наукові вісті НТУУ «КПІ». 2005. №4. с. 25-33.

4. Рыбин А.И., Шарпан О.Б., Григоренко Е.Г., Сакалош Т.В. Коэффициенты трансформант нормализованных ортогональных преобразований и диагностика пульсограм// Вісник НТУУ «КПІ». Приладобудування. 2005. Випуск 30. С.148-156.
5. Рыбин А.И., Ткачук А.П. Анализ линейных систем в области трансформант собственных частот преобразования RTF//Радиоэлектроника. 2006. №11. С.56-63.

Ключові слова: нормальне перетворення сигналів, алгоритм обробки сигналів	
Рыбин А.И., Нижебецкая Ю.Х. Алгоритм формирования матричного оператора дискретного нормального преобразования Предложен алгоритм непосредственного создания матричного оператора дискретного нормального преобразования, что освобождает от пошагового формирования матрицы	Ribin O.I., Nizhebetska Y.Kh Algorithm of forming matrix operator of discrete normal transformation The algorithm of direct creation of matrix operator of discrete normal transformation is offered, that allows to avoid the incremental forming of matrix.