УДК 681.325.36

І. Лазарович
Івано-Франківський Національний технічний університет нафти і газу

МЕТОД СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ СИГНАЛІВ НА ОСНОВІ ПРОЦЕДУРИ РАНДОМІЗАЦІЇ

Запропоновано новий метод спектрального аналізу сигналів на основі процедури рандомізації, наведено порівняння з класичним перетворенням Фур'є та подано структуру спецпроцесора для реалізації цього методу.

Offered a new method of spectral signals analysis based on randomization procedure, the comparison with Fourier transform is given and represented a specially designed processor structure for realization of this method.

Під час оброблення сигналів у спеціалізованих комп'ютерних та телекомунікаційних системах у багатьох випадках доводиться вимірювати спектри. Так, в задачах розпізнавання мови спектральний аналіз, як правило, передує подальшій спеціальній обробці. У системах стиснення смуги мовних сигналів спектральний аналіз є основною операцією. Аналіз спектра частот проводиться при діагностуванні стану об'єкта, наприклад, бурової колони, глибинних насосів та іншого нафтового обладнання.

Класично для отримання спектра сигналу використовуються алгоритми дискретного і швидкого перетворення Фур'є. Для виконання цих алгоритмів необхідно проводити операції з комплексними числами, крім того, спостерігається великий обсяг обчислень, що часто утруднює апаратну реалізацію методу. Тому актуальною задачею є пошук нових підходів у проведенні спектрального аналізу.

Пропонується метод спектрального аналізу, що базується на процедурі рандомізації. Розглянемо її суть.

Рандомізація (англ. *random* – випадковий, нерегулярний, безпорядковий) – це нелінійна процедура навмисного введення "випадковості" або шумоподібності в інформаційну послідовність [1, 2]. Рандомізація полягає у перемішуванні вибірки сигналу згідно з певним законом.

Введемо поняття оператора рандомізації. Оператором рандомізації $\Re$ послідовності $X=\{x_1,x_2,...,x_n\}$ будемо називати дію, яка полягає в переміщенні i-го елемента на місце j-го елемента послідовності X, а відповідність між i та j будемо називати законом рандомізації.

$$\boldsymbol{X}=\{x_i\},\ \Re(X)=\Re(\{x_i\})=X^{\Re},\quad X^{\Re}=\{x_j\},\qquad i,j=\overline{1,n} \tag{1}$$

$j(i)$ – закон рандомізації.

Введемо поняття вагової рандомізації. Ваговою рандомізацією називатимемо процедуру перемішування інформаційної послідовності $X=\{x_i\}$, $i=\overline{1,n}$ із введенням масиву додаткових множників – вагових коефіцієнтів рандомізації b_i, що відповідно визначаються оператором вагової рандомізації $\check{\Re}$:

$$X=\{x_i\},\qquad \check{\Re}(X)=\check{\Re}(\{x_ib_i\})=X^{\check{\Re}_i};\quad X^{\check{\Re}_i}=\{x_jb_j\},\quad i,j=\overline{1,n}. \tag{2}$$

Якщо $j(i)=RND(n)$, причому $j(i)\neq j(k)$, $i,k=\overline{1,n}$, де $RND(n)$ – функція генерації випадкового числа на проміжку $\{1,n\}$, то така процедура є випадковою.

Кількість можливих варіантів рандомізації N визначається довжиною інформаційної послідовності n:

$$N=n! \tag{3}$$

Більшість із N варіантів рандомізації не є практично ефективними.

Розглянемо рандомізацію, яка відбувається згідно з законом, що будується на основі певних вимог до властивостей рандомізованого сигналу.

В [3] описано М-послідовності, характерною особливістю яких є те, що їх автокореляційна функція:

$$R_{xx}(i) = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{n} x_k x_{k+i}, \tag{4}$$

при j=0 має пік, в інших точках її значення близьке до нуля. Це показано на рис. 1.

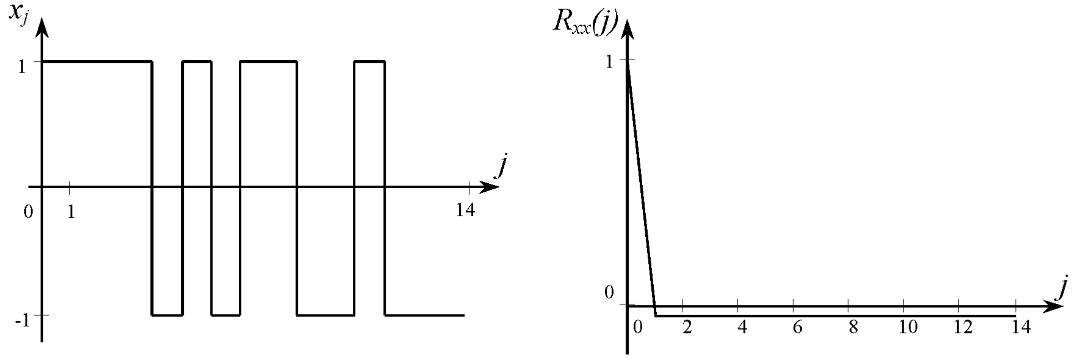

Рис. 1. П'ятнадцятиелементна М-послідовність та її автокореляційна функція

Для вибірки гармонічного сигналу $X=\{x_i\}$, $i=\overline{1,n}$ можна виконати рандомізацію згідно з законом $j(i)$, який утворено таким чином, щоб огинаюча рандомізованого сигналу максимально наближалася до форми сигналу М-послідовності. Цю процедуру будемо називати сигнальною рандомізацією.

Для підвищення точності рандомізації можна ввести додатковий масив вагових коефіцієнтів:

$$v_i = \begin{cases} 1 - x_i, x_i \ge 0, \\ -1 - x_i, x_i < 0; \end{cases} \tag{5}$$

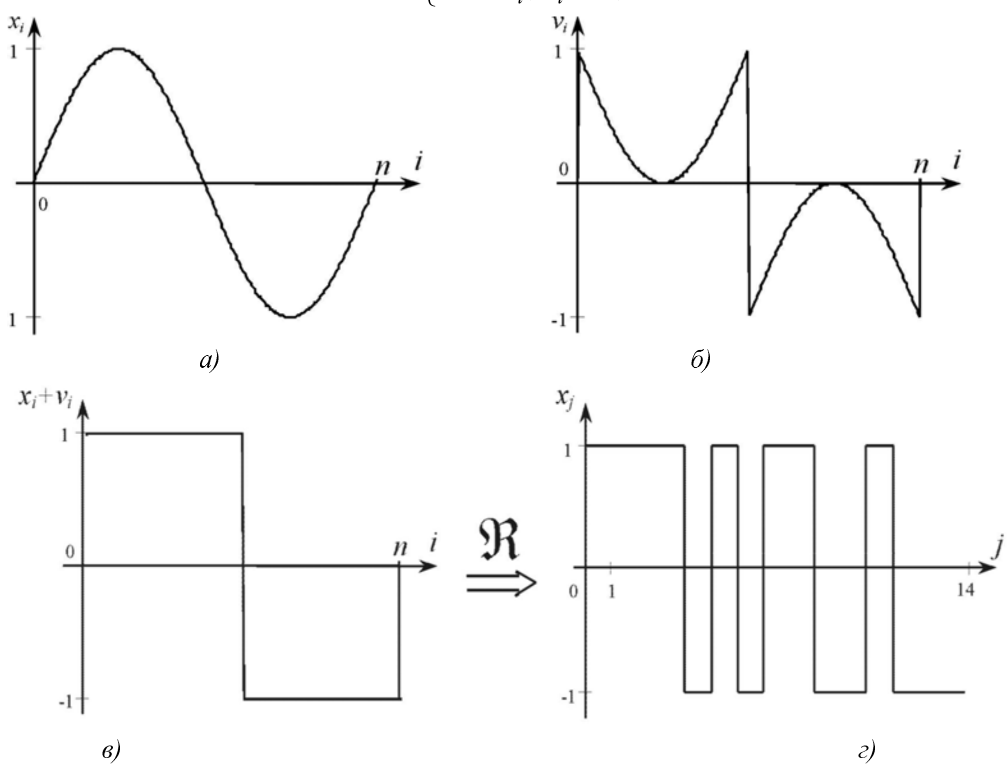

Рис. 2. Процедура сигнальної рандомізації гармонічного сигналу

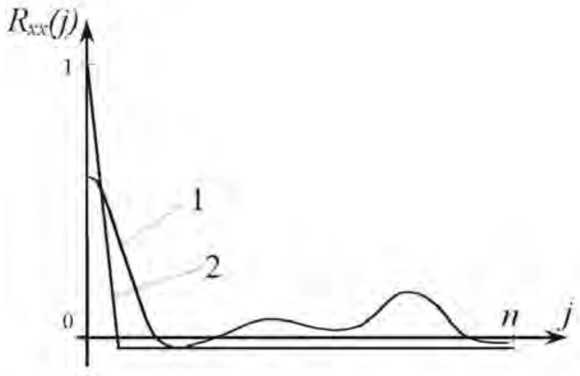

Рис. 3. Автокореляційна функція рандомізованого сигналу

Отже, виконанням сигнальної рандомізації можна виконати перетворення гармонічного сигналу у псевдовипадковий. Ця процедура наведена на рис. 2. На рис. 3 наведено графік автокореляційної функції рандомізованого сигналу без вагових коефіцієнтів (лінія 1) і з їх використанням (лінія 2).

Пропонується метод спектрального аналізу сигналу з застосуванням процедури рандомізації. Метод дає змогу виконати перевірку на наявність у сигналі певної спектральної складової.

Нехай необхідно перевірити вибірку гармонічного сигналу $X=\{x_i\}$, $i=\overline{1,n}$ на наявність деякої частоти ω_l, $l=\overline{1,k}$. Для цього необхідно мати матрицю B, рядками якої є вибірки гармонічних сигналів тестових частот, які є кратними щодо основної частоти. Якщо об'єм кожної вибірки дорівнює n, то матриця буде мати розмір $k \times n$:

$$B = \begin{vmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ b_{k1} & b_{k2} & \dots & b_{kn} \end{vmatrix} \begin{array}{l} \text{– вибірка сигналу тестової частоти } \omega \\ \text{– вибірка сигналу тестової частоти } 2\cdot\omega \\ \\ \text{– вибірка сигналу тестової частоти } k\cdot\omega \end{array} \tag{6}$$

Необхідно також обчислити матрицю вагових коефіцієнтів до елементів матриці B відповідно до (5):

$$V = \begin{vmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ v_{k1} & v_{k2} & \dots & v_{kn} \end{vmatrix}. \tag{7}$$

Просумувавши матрицю виборок тестових частот B і матрицю вагових коефіцієнтів V, можна отримати k-вимірний вектор J, елементами якого є закони рандомізації для кожної з тестових частот:

$$J = \begin{vmatrix} j_1(n) \\ j_2(n) \\ \vdots \\ j_k(n) \end{vmatrix}. \tag{8}$$

Елементи вектора J $j_l(n)$ утворюються таким чином, щоб огинаюча рандомізованого сигналу максимально наближалася до форми сигналу М-послідовності.

Отже, для дослідження вибірки сигналу $X=\{x_i\}$ необхідно мати матрицю вагових коефіцієнтів V та вектор J.

Перша операція, яка виконується під час аналізу спектра сигналу полягає у додаванні елементів сигналу x_i із відповідними елементами рядків матриці вагових коефіцієнтів v_{il}:

$$X^v = \begin{vmatrix} x_1 + v_{11} & x_2 + v_{12} & \dots & x_n + v_{1n} \\ x_1 + v_{21} & x_2 + v_{22} & \dots & x_n + v_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_1 + v_{k1} & x_2 + v_{k2} & \dots & x_n + v_{kn} \end{vmatrix} \tag{9}$$

Далі виконується рандомізація отриманої матриці X^v відповідно до вектора J:

$$X^{\Re} = \Re(X^v) = \left\| x_{il}^r \right\| \tag{10}$$

Отримана матриця використовується для обчислення матриці коефіцієнтів кореляції:

$$\left\| R_{xx_{il}} \right\| = \frac{1}{n} \sum_{m=1}^{n} x_{il}^r x_{i(l+m)}^r , \quad l = \overline{1,n}, \quad i = \overline{1,k}. \tag{11}$$

Для оцінки коефіцієнтів кореляції необхідно ввести пороговий коефіцієнт $\alpha = (0,7 - 0,8)\ A$, де A – значення піка кореляційної функції R_{xx}.

Останній крок методу – порівняння елементів матриці коефіцієнтів кореляції $R_{xx_{il}}$ із пороговим коефіцієнтом α. За результатом порівняння робиться висновок про присутність в досліджуваному сигналі k-ї гармоніки сигналу: якщо в k-му рядку матриці R є елемент, значення якого перевищує значення коефіцієнта α, то в досліджуваному сигналі присутня k-та гармоніка.

На рис. 4 зображено структурну схему спецпроцесора, який реалізує розглянутий вище метод.

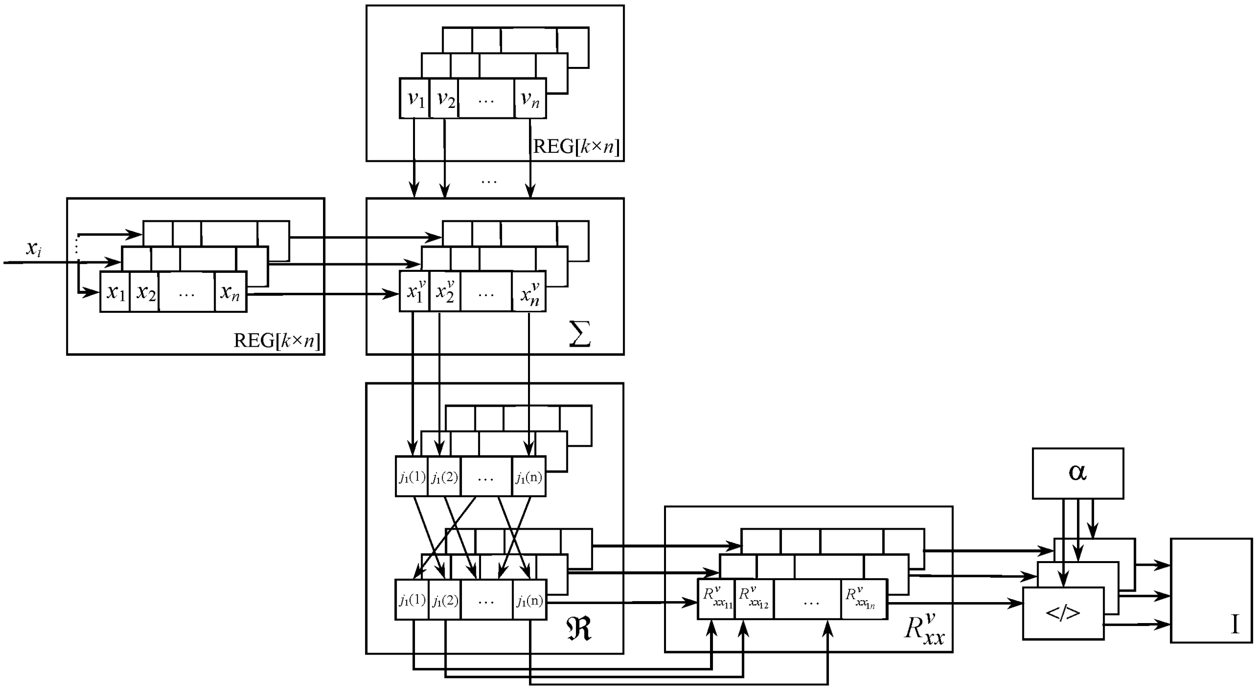

Рис. 4. Структурна схема спецпроцесора

Розглянемо принцип роботу схеми, зображеної на рис. 4.

Відліки сигналу x_i надходять на входи k послідовних регістрів зсуву розміром n елементів. Утворюються k вибірок сигналу, які на наступному кроці додаються з ваговими коефіцієнтами, утворюючи масиви значень. На наступному кроці відліки отриманих масивів рандомізуються. Далі обчислюється автокореляційна функція рандомізованого масиву R_{xx}^v. На останньому кроці роботи схеми виконується логічне порівняння відліків автокореляційної функції з пороговим коефіцієнтом. Результат порівняння демонструється за допомогою індикатора.

З метою спрощення, а отже, і підвищення швидкодії в схемі замість автокореляційної функції R_{xx}^{v} доцільно застосувати автоструктурну функцію Колмогорова [4]:

$$C_{xx}^{v}(i) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{n} (x_k - x_{k+i})^2 . \tag{12}$$

Отже, алгоритм запропонованого спектрального аналізу реалізується за допомогою операцій додавання, рандомізації, піднесення до квадрата та логічного порівняння і не містить множення, що спрощує його апаратну реалізацію та підвищує швидкодію.

Кількість арифметичних операцій додавання становить $nk(1+2n)$, операцій перестановок – nk, логічних порівнянь – k, операцій піднесення до квадрата – kn^2.

Перевагою алгоритму спектрального аналізу на основі рандомізації порівняно з перетворенням Фур'є, де використовуються операції з комплексними числами, є його простота і висока швидкодія. Окрім цього, алгоритм працює в реальному часі, тобто при надходженні кожного наступного відліку вхідного сигналу на виході маємо оцінку його спектра. Ще однією з переваг алгоритму є його підвищена завадостійкість за рахунок використання рандомізації [1].

Основним обмеженням алгоритму є те, що він не дозволяє виявляти спектральні складові в сигналі, який є сумою гармонічних коливань кратних частот.

1. Лазарович І., Николайчук Я. Дослідження застосування процедури рандомізації при передаванні сигналів в каналі з шумом // Комп'ютерні технології друкарства. Зб. наук. пр. – 2000. – №4. – С. 314–320. 2. Галсман К., Прокопцева М. Методы передачи данных в цифровом телевидении. Ч. 3. Концепция DVB-T. "625-net", 1999. – №9. 3. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобними сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с. 4. Николайчук Я.М. Низові обчислювальні мережі. – К.: УМК ВО, 1990. – 55 с.

УДК 621.391.84

В. Борщ, Л. Нетудихата
Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова

АЛГОРИТМИ ПОБУДОВИ РОЗВ'ЯЗУВАЛЬНОЇ ФУНКЦІЇ ВИЗНАЧЕННЯ СИМВОЛУ ІМПУЛЬСНОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ НА ВХОДІ ВИДІЛИТЕЛІВ ТАКТОВОГО СИНХРОСИГНАЛУ

Розглядається побудова оптимальної розв'язувальної функції розподілу багатовимірного простору сигналів на вході виділителів тактового синхросигналу на основі статистичних методів прийняття рішень і теорії нечітких множин.

The construction of optimum decision function of division multidimensional space of signals on an input of discriminators clock sync signal is considered on the basis of statistical methods of acceptance of the decisions.

1. Вступ

Співвідношення швидкостей передачі при переміщені цифрових потоків і смуги пропускання каналів зв'язку в цифрових системах передачі інформації (ЦСПІ) змушують використовувати бінарні, різні види троїчних, квазітроїчних та інших багаторівневих сигналів, а також сигналів з парціальним відкликом, енергетичні спектри яких дуже часто не містять складової тактової