направляючих валиків, стрічковедучих пар і рулонів пов’язаних між собою рухомою стрічкою є багатомасовою системою. Амплітуда і частота коливань натягу залежать від конструктивних параметрів системи, довжини стрічкопровідних ділянок, жорсткості матеріалу. Параметри рулону та стрічкопровідної ділянки впливають на частоту коливань у намотуваному та розмотуваному механізмах.

Оскільки в результаті повзучості стрічки виникає зменшення натягу від першої стрічковедучої пари до намотувального рулону, то це явище слід компенсувати зміною швидкості наступних після першої стрічковедучої пари вузлів. У випадку індивідуального приводу кожної пари така компенсація забезпечується синхронною зміною завдання.

1. *Луцків М. М. Хмельницька М. М.* Математичне моделювання і комп’ютерне симулювання електромеханічних та стрічкопровідних систем : моногр. – Укр. акад. друк. – Львів. : УАД, 2010. – 172 с.
2. *Дурняк Б. В. Тимченко О. В.* Математичне моделювання і реалізація систем керування стрічкопровідними системами : моногр. – К. : Видавничий центр «ПРОСВІТА», 2003. – 232 с.
3. *Дурняк Б. В., Меденець Я. О., Стрепко І. Т., Тимченко О. В.* Нечітке управління рулонними ротаційними машинами з кластеризацією технологічних параметрів : моногр. – Львів : Укр. акад. друкарства, 2017. – 164 с.
4. *Тимченко О.В., Шевчук О.В.* Математичне моделювання стрічкопровідних систем рулонних ротаційних машин // Моделювання та інформаційні технології. Зб. наук. пр. ІПМЕ НАН України. – Вип.80. – К.: 2017. – С.188-195.

Поступила 22.02.2018р.

УДК 621.391.24

Ю.М. Романишин[1),2)], д.т.н., С.О. Єлманов[3)], Р.З. Лівчицький[1)]
[1)] Національний університет “Львівська політехніка”, м. Львів
[2)] University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Poland
[3)] НКП “СКБ телевізійних систем”, м. Львів

ЧИСЛОВА ПОБУДОВА БІОРТОГОНАЛЬНОГО ВЕЙВЛЕТ-БАЗИСУ НА ОСНОВІ ЗАДАНОЇ ВЕЙВЛЕТ-ФУНКЦІЇ

Розглянуто задачу числової побудови біортогонального вейвлет-базису на основі заданої вейвлет-функції. Для її розв’язання використовується ітераційна оптимізаційна процедура уточнення масштабуючої функції, кратномасштабні співвідношення, залежності між параметрами фільтрів розкладу і реконструкції основного та дуального вейвлет-базисів.

Ключові слова: біортогональний вейвлет-базис, вейвлет-функція, масштабуюча функція

The problem of biorthogonal wavelet basis numerical construction on the base of specified wavelet function is considered. For the solving of it the iterative optimization procedure of multiscale function refinement, multiscale formulas, dependences between parameters of decomposition and reconstruction filters of main and dual wavelet basis are used.
Keywords: biorthogonal wavelet basis, wavelet function, scaling function

Вступ. Дискретні вейвлет перетворення на основі ортогональних та біортогональних вейвлет-базисів широко використовується в різних задачах масштабно-часового дослідження сигналів [1,2]. Використання дискретних вейвлет-перетворень для розкладу сигналів звичайно базується на застосуванні відомих ортогональних та біортогональних вейвлет-базисів [1,3,4]. При цьому виникає задача вибору відповідного ортогонального вейвлет-базису або пари біортогональних вейвлет-базисів (основного і дуального), а для сімейства базисів ще й вибір номера представника сімейства. Однак часто відомі ортогональні та біортогональні вейвлет-базиси можуть бути достатньо далекими за формою від заданих функцій, які потрібно розкласти в такому вейвлет-базисі. Синтез таких базисів може здійснюватися різними методами, наприклад, на основі рівності нулю моментів відповідних порядків [1,3,5]. Однак при цьому не враховується форма відповідних масштабуючих та вейвлет-функцій (для ортогонального базису) та їх пар (для біортогонального базису), хоча в практичних задачах звичайно буває необхідність побудови вейвлет-базису, базисна вейвлет-функція якого близька за формою до досліджуваного сигналу. У зв'язку з цим виникає задача побудови ортогонального чи біортогонального вейвлет-базису на основі заданої вейвлет-функції.

Метою роботи є числова побудова біортогонального вейвлет-базису для заданого сигналу, який розглядається як вейвлет-функція основного базису.

Властивості біортогональних вейвлет-базисів. В [6,7] була розглянута задача синтезу ортогонального вейвлет-базису на основі заданої функції, яка розглядається як вейвлет-функція цього базису. Для обчислення вейвлет-функції, масштабуючої функції та коефіцієнтів фільтрів декомпозиції та реконструкції побудовано ітераційну оптимізаційну процедуру, функціонування якої продемонстровано на прикладі ортогонального вейвлет-базису Добеші db4.

Однак ортонормовані базиси вейвлетів з компактними носіями є несиметричними. За винятком базису Хаара, всі дійсні ортонормовані базиси вейвлетів, які мають компактний носій, є несиметричними [3], що визначає їх малу придатність для кратномасштабного дослідження симетричних сигналів.

В [8] представлено синтез біортогональних вейвлет-базисів з використанням нульових моментів вейвлет-функцій різних порядків. Однак при цьому форма самої базисної вейвлет-функції не була наперед визначеною.

В біортогональному базисі вейвлетів маємо дві пари функцій (основна та дуальна) – масштабуюча функція та вейвлет-функція φ, ψ та $\tilde{\varphi}$, $\tilde{\psi}$, а також відповідні їм дві пари фільтрів нижніх та верхніх частот. Вейвлети ψ і $\tilde{\psi}$ задовольняють відомим умовам:

$$\int_{-\infty}^{\infty}\psi(x)dx = 0; \qquad \int_{-\infty}^{\infty}\tilde{\psi}(x)dx = 0; \tag{1}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty}\psi^2(x)dx = 1; \quad \int_{-\infty}^{\infty}\tilde{\psi}^2(x)dx = 1; \quad \int_{-\infty}^{\infty}\varphi^2(x)dx = 1; \quad \int_{-\infty}^{\infty}\tilde{\varphi}^2(x)dx = 1. \tag{2}$$

Вейвлет-функції та масштабуючі функції пов'язані з параметрами фільтрів двомасштабними співвідношеннями:

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2}}\sum_{n=0}^{k-1} h_n\varphi(2x-n); \quad \psi(x) = \frac{1}{\sqrt{2}}\sum_{n=0}^{k-1} g_n\varphi(2x-n); \tag{3}$$

$$\tilde{\varphi}(x) = \frac{1}{\sqrt{2}}\sum_{n=0}^{k-1} \tilde{h}_n\tilde{\varphi}(2x-n); \quad \tilde{\psi}(x) = \frac{1}{\sqrt{2}}\sum_{n=0}^{k-1} \tilde{g}_n\tilde{\varphi}(2x-n), \tag{4}$$

де h_n - коефіцієнти фільтра нижніх частот при декомпозиції сигналу;

g_n - коефіцієнти фільтра верхніх частот при декомпозиції сигналу;

$\tilde{h}_n$ - коефіцієнти фільтра нижніх частот при реконструкції сигналу;

$\tilde{g}_n$ - коефіцієнти фільтра верхніх частот при реконструкції сигналу;

k - порядок біортогонального вейвлет-базису.

В спектральній області співвідношення (3)-(4) мають вид [3]:

$$\hat{\varphi}(\xi) = m_0(\xi/2)\hat{\varphi}(\xi/2); \quad \hat{\psi}(\xi) = m_1(\xi/2)\hat{\varphi}(\xi/2); \tag{5}$$

$$\hat{\tilde{\varphi}}(\xi) = \tilde{m}_0(\xi/2)\hat{\tilde{\varphi}}(\xi/2); \quad \hat{\tilde{\psi}}(\xi) = \tilde{m}_1(\xi/2)\hat{\tilde{\varphi}}(\xi/2), \tag{6}$$

де $\hat{\varphi}(\xi)$, $\hat{\psi}(\xi)$, $\hat{\tilde{\varphi}}(\xi)$ та $\hat{\tilde{\psi}}(\xi)$ - спектри масштабуючих та вейвлет-функцій основного та дуального базису; ξ - частота;

$$m_0(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2}}\sum_{m=0}^{k-1} h_n e^{-in\xi}; \quad m_1(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2}}\sum_{n} g_n e^{-in\xi}; \tag{7}$$

$$\tilde{m}_0(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2}}\sum_{m=0}^{k-1} \tilde{h}_n e^{-in\xi}; \quad \tilde{m}_1(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2}}\sum_{n} \tilde{g}_n e^{-in\xi}. \tag{8}$$

Коефіцієнти фільтрів пов'язані між собою співвідношеннями:

$$\tilde{h}_n = (-1)^{n+1} g_n; \quad \tilde{g}_n = (-1)^n h_n. \tag{9}$$

Внаслідок симетрії фільтрів h_n і $\tilde{h}_n$ ці співвідношення можуть бути записані і в іншій формі [3].

Крім того, коефіцієнти фільтрів задовольняють умові ортогональності:

$$\sum_{n=0}^{k-1} \tilde{g}_n g_{n-2m} = \delta_m \,, \quad m = 0,1,\dots,k-1\,, \tag{10}$$

де δ_m - символ Кронекера.

Ці співвідношення визначають систему рівнянь для визначення коефіцієнтів дуального фільтра через коефіцієнти основного і навпаки:

$$\sum_{n=0}^{k-1} \tilde{g}_n g_n = 1; \quad \sum_{n=0}^{k-1} \tilde{g}_n g_{n-2} = 0; \ \dots \ \sum_{n=0}^{k-1} \tilde{g}_n g_{n-2(k-1)} = 0\,. \tag{11}$$

При від'ємних індексах здійснюється циклічний вибір відповідних невід'ємних індексів.

Серед цих рівнянь половина рівнянь (при парній кількості базисних функцій) є ідентичною, крім того, одне з рівнянь є лінійною комбінацією інших, у зв'язку з чим для однозначного визначення $\tilde{g}_n$ через g_n не вистачає одного рівняння, яким може бути умова нормування коефіцієнтів фільтра.

Постановка задачі. Задана деяка функція $\psi^*(x)$, яка, задовольняючи умовам:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi^*(x)dx = 0\,; \quad \int_{-\infty}^{\infty} (\psi^*(x))^2 dx = 1\,, \tag{12}$$

може розглядатися як вейвлет-функція.

Поставимо задачу знаходження біортогонального вейвлет-базису (вейвлет та масштабуюча функції $\psi(x)$, $\varphi(x)$, дуальний йому базис $\tilde{\psi}(x)$, $\tilde{\varphi}(x)$, а також набір фільтрів розкладу та реконструкції h_n, g_n, $\tilde{h}_n$ та $\tilde{g}_n$), причому вейвлет функція $\psi(x)$ повинна бути близькою до $\psi^*(x)$, тобто повинна виконуватися умова:

$$\Delta = \int_{-\infty}^{\infty} (\psi(x) - \psi^*(x))^2 dx \to \min\,. \tag{13}$$

Таким чином, задача знаходження відповідного біортогонального базису зводиться до оптимізаційної задачі з використанням наведених вище двомасштабних співвідношень та залежностей між прямим та дуальним вейвлет-базисом. Після підставляння виразу (3) для $\psi(x)$ у вираз (13) для Δ можна сформулювати оптимізаційну задачу як мінімізацію виразу (13) щодо коефіцієнтів фільтра g_n при заданій функції $\varphi(x)$:

$$\Delta = \int_{-\infty}^{\infty} \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \sum_{n=0}^{k} g_n \varphi(2x-n) - \psi^*(x) \right)^2 dx \to \min . \quad (14)$$

Умова екстремуму Δ по коефіцієнтах g_n, $n = \overline{0; k-1}$:

$$\frac{\partial \Delta}{\partial g_n} = 0 , \; n = \overline{0; k-1} . \quad (15)$$

В результаті отримуємо систему лінійних рівнянь щодо g_n при заданих функціях $\psi^*(x)$ та $\varphi(x)$:

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \sum_{n=0}^{k-1} g_n \int_{-\infty}^{\infty} \varphi^2 (2x-n) dx = \int_{-\infty}^{\infty} \psi^*(x) \varphi(2x-n) dx . \quad (16)$$

Алгоритм розв’язання задачі. Ітераційний алгоритм синтезу біортогонального вейвлет-базису включає такі етапи.

1. Задається початкове наближення нормованої масштабуючої функції $\varphi(x) = \varphi_0(x)$.

2. Розв’язується система лінійних алгебраїчних рівнянь (16) і визначаються коефіцієнти фільтра g_n.

3. На основі системи рівнянь (11) обчислюються коефіцієнти фільтра $\tilde{g}_n$ дуального базису.

4. За рівняннями (3) і (9) обчислюється наступне наближення $\varphi(x)$.

Це наближення нормується: $\int_{-\infty}^{\infty} \varphi^2(x) dx = 1$.

5. Повторюється ітераційна процедура, починаючи з п. 2, до виконання умови:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \left(\varphi_{i+1}(x) - \varphi_i(x) \right)^2 dx < \varepsilon , \quad (17)$$

де i - номер ітерації; ε - задана похибка.

Після завершення ітераційної процедури за співвідношеннями (3), (4), (9) обчислюються решта функцій біортогонального вейвлет-базису та коефіцієнти фільтрів.

Висновки. При практичних застосуваннях дискретних вейвлет-перетворень виникає задача вибору відповідного ортогонального або біортогонального вейвлет-базису, причому найбільш доцільним є вибір такого базису, в якому материнська вейвлет-функція (або масштабуюча функція) була би близька за формою до досліджуваного сигналу, що забезпечує невелику кількість ненульових коефіцієнтів розкладу сигналу в цьому базисі. Як правило, в практичних задачах складно знайти відповідний базис, що обумовлює доцільність синтезу відповідного базису. Для синтезу біортогонального вейвлет-базису можуть бути використані ітераційна оптимізаційна процедура уточнення масштабуючої функції, кратномасштабні співвідношення, залежності між параметрами фільтрів розкладу і реконструкції основного та дуального вейвлет-базисів.

1. *Малла С.* Вэйвлеты в обработке сигналов: Пер. с англ. – М.: Мир, 2005. – 671 с.
2. *Новиков Л.В.* Адаптивный вейвлет-анализ сигналов // Научное приборостроение. - 1999. - Т. 9, № 2. – 13 с.
3. *Добеши И.* Десять лекций по вейвлетам. – Ижевск: НИЦ “Регулярная и хаотическая динамика”, 2001. – 464 с.
4. *Смоленцев Н.К.* Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 304 с.
5. *Cohen A., Daubechies I., Feauveau J.-C.* Biorthogonal Bases of Compactly Supported Wavelets // Communications on Pure and Applied Mathematics. - 1992. – Vol. XLV. – P. 485-560.
6. *Романишин Ю.М., Петрицька С.Р., Якимів Р.М., Копина Т.В.* Можливості побудови ортогонального вейвлет-базису на основі заданої вейвлет-функції // Моделювання та інформаційні технології. Зб. наук. пр. ІПМЕ НАН України. – Вип. 67. – К.: 2013. – С. 171-177.
7. *Romanyshyn Y.M., Petrytska S.R.* Construction of orthogonal wavelet basis using specified wavelet function // Proceedings of the International Conference TCSET’2014. – 2014, Lviv-Slavske, Ukraine. – P. 674-676.
8. *Исаев Ю.Н.* Конструирование биортогональных вейвлет-базисов для оптимального представления сигналов // Известия Томского политехнического университета. - 2004. - Т. 307, № 1. - С. 37-42.

Поступила 15.02.2018р.

УДК 004.056.52

О.Р. Партика, Львів

МЕХАНІЗМИ РОЗМЕЖУВАННЯ ДОСТУПУ ДО РЕСУРСІВ КОРПОРАТИВНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

The methods of differentiating access to resources of the corporate information system on the basis of: discretionary model and mandate (authority) model are considered. Their advantages and disadvantages are shown. A conclusion is made on the promise and the necessity of applying multi-level models of information security.

Keywords: discretionary model, mandate model, access differentiation.

Вступ. Одним з головних кроків на шляху до забезпечення конфіденційності інформації є розмежування доступу співробітників до ресурсів корпоративної інформаційної системи з метою обмежити спектр

