

ЗАСТОСУВАННЯ ПАКЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ РАДІОТЕХНІЧНИХ СИГНАЛІВ

Розглянуто можливість використання пакетного вейвлет-перетворення для обробки оцифрованих радіотехнічних сигналів. Показано, що розроблений алгоритм дозволяє відновити радіотехнічний сигнал із заданою точністю.

Постановка проблеми. Передові у технологічному відношенні країни приділяють значну увагу створенню і вдосконаленню засобів радіотехнічного моніторингу (РМ) [1, 2]. При здійсненні РМ застосовуються пасивні засоби виявлення, приймання й аналізу випромінювань. Велика кількість радіоелектронних засобів і систем зумовлює складність їх контролю. Таким чином, гостро постає проблема створення нових засобів РМ, модернізації існуючих та впровадження нових методів обробки.

Огляд останніх досліджень і публікацій. На даний час набувають поширення алгоритми обробки сигналів [3 – 9] з використанням вейвлет-перетворення (ВП) та його удосконаленого варіанта пакетного вейвлет-перетворення (ПВП). Можливість використання ВП для завдань обробки цифрових даних досліджується в таких публікаціях:

- у [4, 5, 7] розглянуто основи теорії та приклади використання ВП;
- у [6] – можливість застосування ВП для діагностики ударних механізмів;
- у [8] проведено аналіз алгоритмів одноканальної цифрової фільтрації сигналів;
- у [9] розроблено методику стиснення цифрової інформації з використанням ВП.

Питання застосування дискретного ПВП, особливо для обробки радіотехнічних сигналів, на сьогодні є недостатньо вивчені.

Формулювання завдання дослідження. У процесі роботи засобів РМ можна виділити три етапи: виявлення сигналу, його розпізнавання та визначення місцезнаходження джерела радіовипромінювання. Перший і третій етапи добре вирішуються класичними методами обробки. Що ж стосується розпізнавання великої кількості можливих сигналів, то тут є певні проблеми. Один з підходів розпізнавання сигналу зводиться до знаходження коефіцієнтів кореляції між прийнятим сигналом та еталонами, закладеними у пам'ять пристрою [4]. Але такий підхід вимагає значного обсягу пам'яті пристрою та великих обчислювальних витрат [5]. Розпізнавання за вейвлет-коефіцієнтами, яких у декілька разів менше, ніж дискрет сигналу, дозволить зменшити обчислювальні витрати. Це зумовлює необхідність розробки алгоритмів стиснення. Показником оцінки втрат якості інформації [3] пропонується обрати максимальне відхилення дискрет між вхідним $S(t)$ та реконструйованим $S'(t)$ сигналами після стиснення:

$$B(S(t), S'(t)) = \max |S(t) - S'(t)|. \quad (1)$$

Показником щільності стиснення обрано коефіцієнт стиснення, який показує у скільки разів зменшується кількість дискрет обробленого сигналу:

$$K = \frac{N_p}{N_s}, \quad (2)$$

де N_p – початкова кількість дискрет сигналу;

N_s – кількість дискрет стиснутого сигналу.

Таким чином, необхідно досягти максимального стиснення сигналів за рахунок мінімальних втрат. Отже, показником втрат буде виступати коефіцієнт кореляції між поданим та реконструйованим сигналами, а показником стиснення – відношення кількості дискрет поданого сигналу до кількості коефіцієнтів стиснутого (коефіцієнт стиснення).

Виклад основного матеріалу. Основна ідея ПВП сигналу полягає у його розбитті на дві складові: грубу (апроксимуючу) та тонку (деталізуючу) – з наступним їх дробленням. ПВП сигналу $W(a, b)$ проводиться за сімейством функцій $\psi((t - b)/a)$, які створені з однієї функції $\psi(t)$ за допомогою переносів b й розтяжінь a у часі. Розподіл (a, b) дає інформацію про відносний вклад компонент різного масштабу у часі й називається спектром коефіцієнтів ПВП [5]. Для створення алгоритмів стиснення перспективним є дискретне ПВП, оскільки воно має алгоритми швидкого перетворення.

Безперервний сигнал $S(t)$ визначається дискретною послідовністю своїх миттєвих значень $i = 0, 1, 2, \dots, N$, які вибираються через інтервали часу Δt . Таким чином, дискретизований з кроком Δt сигнал можна визначити [4]:

$$S(t) = \{S_i\} = \sum_{i=0}^N S(i\Delta t) \cdot \delta(t - i\Delta t), \quad (3)$$

де $\delta(t)$ – дельта-функція.

На відміну від безперервних вейвлетів, дискретні мають деякі особливості:

у практичних обчисленнях їх конкретна форма не виписується [4], а використовуються тільки значення коефіцієнтів функціональних рівнянь;

вейвлет-базис задається за допомогою ітераційного алгоритму, що, у свою чергу, робить можливими швидкі числові розрахунки локальних характеристик на різних масштабах. Як правило, дискретизація здійснюється через ступені двійки $a = 2m$, $b = k2m$, де m, k – цілі числа [7]. ПВП для дискретного, заданого через рівні інтервали часу Δt вхідного сигналу може бути розраховане [7] за виразом

$$W(m, k) = \frac{1}{\sqrt{a}} \sum_{i=0}^N S(i) \sum_i^{i+1} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt. \quad (4)$$

Зворотне дискретне ПВП задається формулою

$$S'(t) = \frac{1}{W_\psi} \sum_i \sum_k W(m, k) a_0^{-j/2} \psi(a_0^{-j} t - k). \quad (5)$$

Було доведено [5, 6, 8], що для ортогональних вейвлетів можливе точне відновлення сигналу після прямого та інверсного дискретного ПВП. Для обробки сигналів у даній

роботі було використано базову вейвлет-функцію Добеші 1 (db1), оскільки її достатньо просто реалізувати при моделюванні на ПЕОМ [7]. Крім того, для неї існують алгоритми швидкого ПВП.

Загальну структуру алгоритму стиснення з використанням ПВП подано на рис. 1.



Рис. 1. Блок-схема алгоритму стиснення за допомогою ПВП

Стиснення проводилось для сигналів з лінійною частотною модуляцією (ЛЧМ), кодофазовою маніпуляцією (КФМ), радіоімпульсу, суми синусоїд та стрибкоподібною зміною частоти у сигналі. Діапазон частот поданих сигналів від 1 до 50 МГц, частота

дискретизації 200 МГц, тривалість сигналів 0,5 мкс. Надалі проводиться ПВП розрахованого рівня для поданого сигналу та визначається модуль середнього значення вейвлет-коефіцієнтів кожної частини подання сигналу (рис. 2).

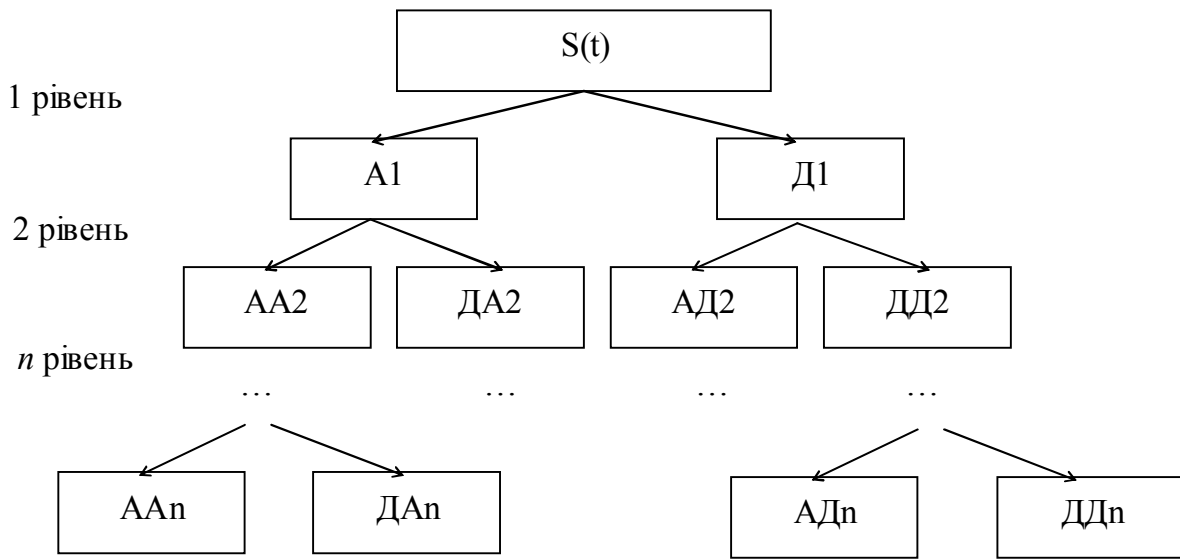


Рис. 2. Схема ПВП

Для першого рівня перетворення кількість апроксимуючих (A1) та деталізуючих (Д1) вейвлет-коефіцієнтів у два рази менша від кількості дискрет сигналу. Дослідження показують, що частини з максимальним за модулем середнім значенням вейвлет-коефіцієнтів дають максимальний коефіцієнт кореляції між поданим та відновленим сигналами. Це пояснюється найбільшою відповідністю базової вейвлет-функції даного рівня розкладу поданому сигналу.

Після цього задається необхідний коефіцієнт кореляції (\tilde{r}) між вхідним та реконструйованим сигналами. Для них визначено коефіцієнт кореляції 0,99. Обирається частина з максимальним за модулем середнім значенням вейвлет-коефіцієнтів і проводиться для неї зворотне ПВП. Після цього розраховується коефіцієнт кореляції між поданим та реконструйованим сигналами:

$$\tilde{r} = \frac{1}{N\tilde{\sigma}_{s(t)}\tilde{\sigma}_{s'(t)}} \sum_{i=1}^N (s(t) - \tilde{m}_{s(t)})(s'(t) - \tilde{m}_{s'(t)}), \quad (7)$$

де $\tilde{\sigma}_{s(t)}$ – оцінка середньоквадратичних відхилень вхідного $S(t)$ сигналу;

$\tilde{\sigma}_{s'(t)}$ – оцінка середньоквадратичних відхилень реконструйованого $S'(t)$ сигналу.

Значення розрахованого коефіцієнта кореляції порівнюється зі встановленим, якщо воно менше, то зворотне перетворення проводиться для наступної частини за величиною модуля середнього значення вейвлет-коефіцієнтів, а дискрети відновленого сигналу для першої та наступної частин додаються. Після цього розраховане значення коефіцієнта кореляції знову порівнюється зі встановленим. Якщо воно вище або дорівнює йому, то проведення зворотного перетворення для інших частин припиняється. У пам'ять пристрою закладаються вейвлет-коефіцієнти частин ПВП, які використовувались для

відновлення сигналів. Запропонований алгоритм дозволяє досягти стиснення більш ніж у три рази (дані наведено у таблиці).

Таблиця

Сигнал	ЛЧМ	КФМ	Радіоімпульс	Сума синусоїд	Стрибок частоти
Отриманий коефіцієнт кореляції	0,992	0,99018	0,999	0,99363	0,9934
Кількість вейвлет-коефіцієнтів	825	562	496	310	310
Коефіцієнт стиснення	3,55	4	8	6,4	6,4

Висновки. З проведених досліджень випливає, що найбільший коефіцієнт стиснення досягається для простих сигналів. ЛЧМ та КФМ сигнали мають більш складну структуру, а відповідно, і менший коефіцієнт стиснення. Крім того, доведено, що при зменшенні коефіцієнта кореляції з 0,99 до 0,97 коефіцієнт стиснення збільшується у 2 – 3 рази. У подальших дослідженнях необхідно проаналізувати можливість застосування різних базисних функцій для здійснення ПВП та їх вплив на якість стиснення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Пошук та локалізація радіозакладних пристроїв / В. О. Хорошко, О. Д. Азаров, Г. О. Максименко, Ю. Є. Яремчук. – Вінниця : ВНТУ. – 2007. – 333 с.
2. Бартків Н. І. Методи та локалізація джерел несанкціонованого випромінювання / Н. І. Бартків, І. М. Коротєєв // Захист інформації. – 2009. – № 3. – С. 68 – 73.
3. Левкович-Маслюк Л. І. Дайджест вейвлет-анализа в двух формулах и 22 рисунках / Л. І. Левкович-Маслюк // КомпьюТерра. – 2008. – № 8. – С. 36 – 43.
4. Астафьева Н. В. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // УФН. – 1996. – № 11. – С. 1145 – 1170.
5. Яковлев А. Н. Основы вейвлет-преобразования сигналов : учеб. пособие / А. Н. Яковлев. – М. : САЙНС – ПРЕСС. – 2003. – 80 с.
6. Застосування вейвлет-перетворення функції вібросигналу в технічній діагностиці механізмів з ударними навантаженнями / І. Г. Грабар, В. Ф. Запольский, В. К. Захаров та ін. // Вісник ЖІТІ. – 2002. – № 23. – С. 16 – 21.
7. Дремін І. М. Вейвлеты и их использование / І. М. Дремін, О. В. Иванов, В. А. Нечитайло // УФН. – 2001. – № 5. – С. 465 – 501.
8. Коваленко М. В. Алгоритми одноканальної цифрової фільтрації сейсмічних сигналів / М. В. Коваленко, М. М. Проценко // Вісник ЖІТІ. – 2002. – № 23. – С. 137 – 142.
9. Коваленко М. В. Методика стиснення цифрової інформації за допомогою вейвлет-перетворення. / М. В. Коваленко, М. М. Проценко // Зб. наук. пр. – Житомир : ЖВІРЕ. – 2003. – Вип. 6. – С. 11 – 17.

Подано 04.11.09

М. М. Проценко

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАКЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
ДЛЯ ОБРОБКИ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ**

Рассмотрена возможность использования пакетного вейвлет-преобразования для обработки оцифрованных радиотехнических сигналов. Показано, что разработанный алгоритм позволяет восстановить радиотехнический сигнал с заданной точностью.

M. M. Prozenko

**USE OF PACKET WAVELET TRANSFORMATION FOR RADIO SIGNALS
PROCESSING**

The possibility of packet wavelet transformation using for processing of digitized radio signals is considered. It is shown that the developed algorithm allows to recover radio signal with given accuracy.