

УДК 621.396  
DOI: 10.31673/2409-7292.2018.031115

Проценко М.М., Куртсеітов Т.Л,  
Павлунько М.Я., Бржевська З.М.

## ЗАСТОСУВАННЯ ПАКЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ РАДІОТЕХНІЧНИХ СИГНАЛІВ

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

**Ключові слова:** цифровий сигнал, пакетне вейвлет-перетворення, радіотехнічний сигнал, спектральний аналіз, частота.

**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 і 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] перевірено 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:

$$B(S(t), S^*(t)) = \max |S(t) - S^*(t)|$$

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

$$K = \frac{N_p}{N_s},$$

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 дослідження.** 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 і 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  $\Delta t$ . Таким чином, дискретизований з кроком  $\Delta t$  сигнал можна визначити [4]:

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

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  $a = 2^m$ ,  $b = k2^m$ , де  $m, k$  – цілі числа [7]. ПВП для дискретного, заданого через рівні інтервали часу  $\Delta t$  вхідного сигналу може бути розраховане [7] за виразом

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

Зворотне дискретне ПВП задається формулою

$$S(t) = \frac{1}{W_\psi} \sum_i \sum_k W(m,k) a_0^{-j/2} \psi(a_0^{-j}t - k).$$

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.

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).

Для першого рівня перетворення кількість апроксимуючих (А1) та деталізуючих (Д1) вейвлет-коефіцієнтів у два рази менша від кількості дискрет сигналів. 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.

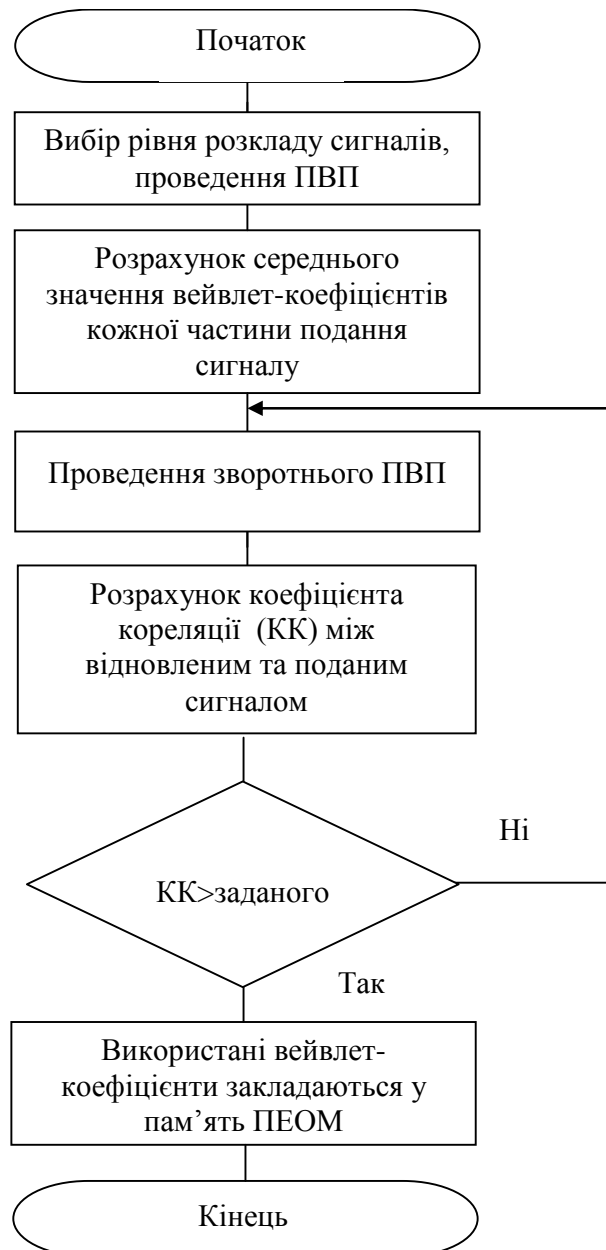


Рис.1. Блок-схема алгоритму стиснення за допомогою ПВП

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:

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

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

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

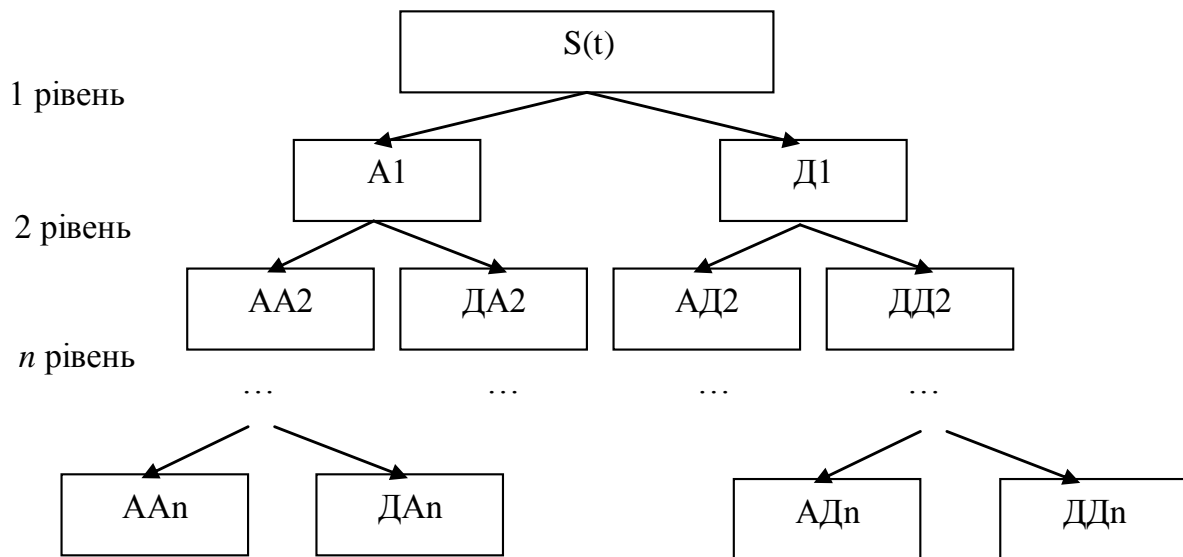


Рис.2. Схема ПВП

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 частини додаються. Після цього розраховане значення коефіцієнта кореляції знову порівнюється з 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 табл. 1).

Таблиця 1

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 використаних джерел

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. Коротєв // Захист інформації. – 2009. – № 3. – С. 68–73.

3. Левкович-Маслюк Л. И. Дайджест вейвлет-анализа в двух формулах и 22 рисунках / Л. И. 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 віброцигнала 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. Вейвлети и их использование / И. 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.
10. Проценко М. М. Вейвлет-перетворення та його застосування для стиснення сейсмічних сигналів / М. М. Проценко // SNTK 2003: Збірник тез. – Макарів – 1, 2003. – С. 26–27.

Надійшла: 11.06.2018

Рецензент: к.т.н. Курченко О.А.