

УДК 621.396

М.М. Проценко, к.т.н., пров.н.с.
Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова
Національного авіаційного університету

ЗАСТОСУВАННЯ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЦИФРОВИХ СИГНАЛІВ

Розглянута можливість застосування вейвлет-перетворення для проведення спектрального аналізу оцифрованих радіотехнічних сигналів. Показано, що використання вейвлет-спектра дозволяє визначити час початку змін частоти сигналу.

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 та аналізу випромінювань. Велика кількість радіоелектронних засобів і систем зумовлює складність їх контролю. Таким чином, гостро постає проблема створення нових засобів РМ, модернізації існуючих і впровадження нових методів аналізу та обробки сигналів.

Огляд останніх досліджень і публікацій. На даний час набувають поширення алгоритми обробки сигналів [3]–[16] з використанням вейвлет-перетворення (ВП). Можливість використання ВП для завдань обробки цифрових сигналів досліджується в таких публікаціях:

- у [4], [13], [14] розглянуто основи теорії та приклади використання ВП для обробки цифрових даних;
- у [9] розроблено методику стиснення цифрової інформації з використанням ВП;
- у [3], [5] проведено вибір оптимальних базисних функцій для обробки зображень;
- у [10] – приклад застосування ВП для обробки цифрових радіосигналів.

Таким чином, на основі проведеного аналізу останніх публікацій можна зробити висновок, що питання застосування ВП, особливо для аналізу радіотехнічних сигналів, на сьогодні є недостатньо вивчені.

Формулювання завдання дослідження. Традиційно основним аналізом сигналів був спектральний аналіз, який проводять за допомогою перетворення Фур'є (ПФ). З практичної точки зору ПФ має деякі обмеження і недоліки. Воно має добру локалізацію у частотній області, але не має локалізації у часовій. Частина недоліків долається за допомогою віконного ПФ, недоліком якого є фіксоване вікно, відповідно воно має фіксовану роздільну здатність у часі й за частотою для всієї площини перетворення, яке не адаптоване до складних сигналів.

Метою статті є проведення досліджень щодо можливості застосування вейвлет-перетворення для аналізу оцифрованих радіотехнічних сигналів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Вейвлет-перетворення – це подання сигналу у вигляді узагальненого ряду чи інтеграла Фур'є по системі базисних функцій, які сконструйовані з материнського (вихідного) вейвлета за рахунок операцій зсуву у часі та змін часового масштабу. Коефіцієнти ВП можуть бути основою аналізу сигналів і побудови цифрових фільтрів для їх обробки.

Основна ідея ВП-сигналу полягає у його розбитті на дві складові: грубу (апроксимуючу) та тонку (деталізуючу) з наступним їх дробленням. ВП-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 компонента різного масштабу у часі та називається спектром коефіцієнтів ВП.

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]:

$$S(t) = \{S_i\} = \sum_{i=0}^N S(i\Delta t) \cdot \delta(t - i\Delta t), \quad (1)$$

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. ВП для дискретного, заданого через рівні інтервали часу Δt вхідного сигналу може бути розраховане [7] за формулою:

$$W(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \sum_{i=0}^N S(i) \sum_i^{i+1} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt . \quad (2)$$

Спектр $W(a, b)$ одновимірного сигналу є поверхнею у тривимірному просторі. Способи візуалізації цієї інформації можуть бути різні [6]. При застосуванні математичного апарату ВП частотна та часова інформація закладена у вейвлет-спектрі, оскільки спектральні компоненти у вейвлетному базисі є функціями двох змінних – масштабу та зсуву (переміщення) [6]. Це означає, що вейвлети дозволяють виявити не тільки частотні особливості будь-якого сигналу, але й визначити час їх появи. Крім того, завдяки масштабуванню тривалість базисної функції завжди узгоджена з тривалістю сигналу.

З точки зору цифрової обробки сигнал являє собою послідовність вимірів з відповідним кроком. Майже 80 % сигналів, які використовуються на даний час, є складними з лінійною частотною модуляцією (ЛЧМ) та кодо-фазовою маніпуляцією (КФМ).

На рис. 1 подано сигнал, який складається з суми двох синусоїд (рис. 1, а – подання сигналу в часовій області). При використанні ПФ до сигналу (рис. 1, б) чітко виділяються дві частоти, а при використанні ВП (рис. 1, в) можна виділити дві структури з різними частотами. Спосіб представлення спектра, як на рис. 1, в, має назву *скейлограма*. Значення вейвлет-коефіцієнтів надає інформацію про подібність обраного вейвлета до сигналу на визначеному проміжку часу.

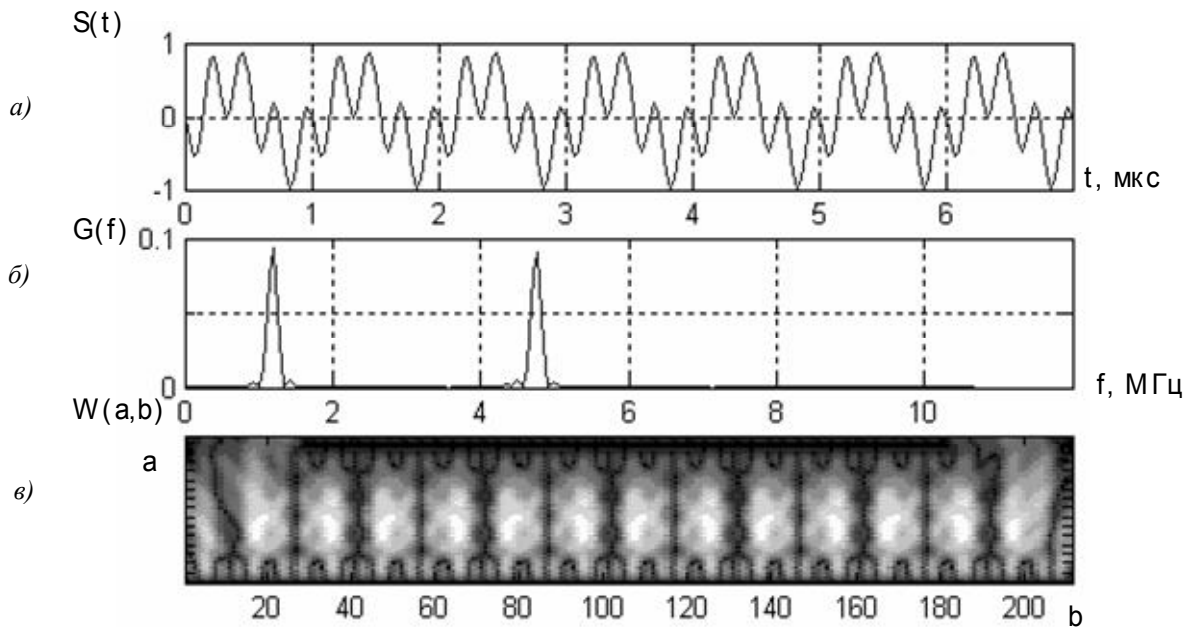


Рис. 1. Цифровий сигнал, який складається з суми двох синусоїд: а – представлення в часовій області; б – представлення в частотній області при використанні перетворення Фур'є; в – представлення за допомогою вейвлет-спектра

На рис. 2, а подано сигнал у часовій області зі зміною частоти в ньому. При використанні ПФ (рис. 2, б) спектри сигналів не відрізняються від спектрів сигналу на рис. 1, б, а при використанні ВП можливо не тільки розрізнити два сигнали, але й визначити час, коли пройшла зміна частоти в сигналі. Максимальне значення вейвлет-коефіцієнтів у кольоровій шкалі визначено білим, мінімальне – чорним. Перші рівні вейвлет-коефіцієнтів надають більш детальну інформацію про час зміни частоти. Визначити частоти в сигналі можна через перерахунок у час параметра $\{b\}$. Цей приклад дозволяє зробити висновок, що у сигналі з частотною маніпуляцією можна визначити час зміни частоти.

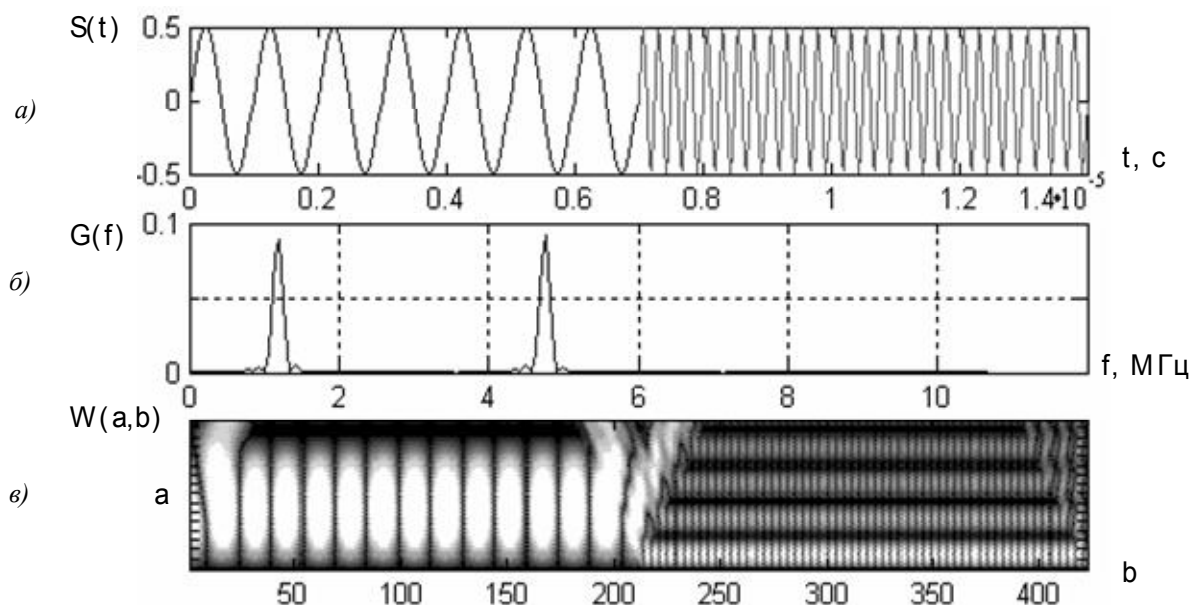


Рис. 2. Цифровий сигнал зі зміною частоти: а – представлення в часовій області; б – представлення в частотній області при використанні перетворення Фур'є; в – представлення за допомогою вейвлет-спектра

На рис. 3 та 4 представлено ЛЧМ-сигнали з різною функцією девіації частоти (спадною та наростаючою частотою). Їх Фур'є-спектри представлено на рис. 3, б, 4, б. Аналіз цих спектрів показує, в якому частотному діапазоні змінюється сигнал.

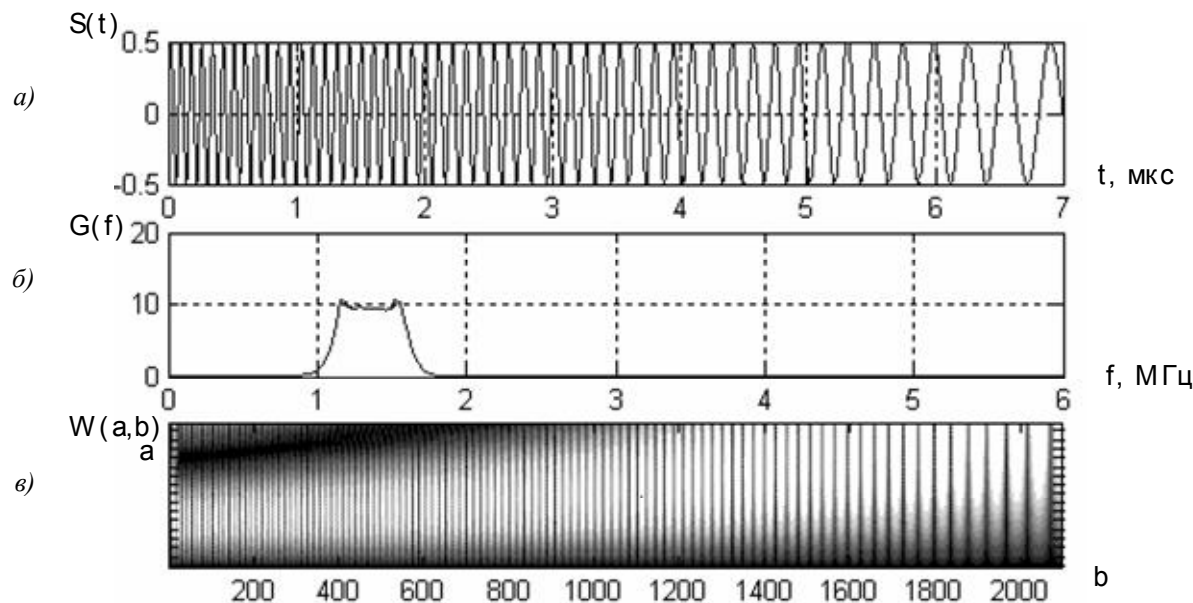


Рис. 3. ЛЧМ-сигнал зі спадною частотою: а – представлення в часовій області; б – представлення в частотній області при використанні перетворення Фур'є; в – представлення за допомогою вейвлет-спектра

Аналіз сигналів показав, що є якісні розбіжності у вейвлет-спектрах різних сигналів. Ці розбіжності зберігаються при зміні основних параметрів сигналів.

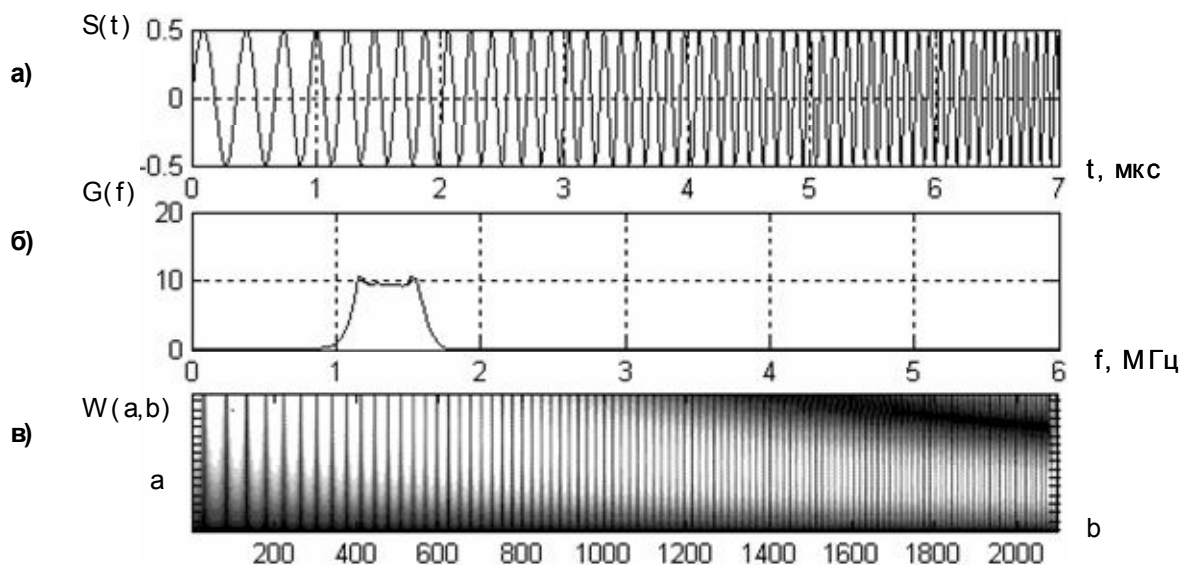


Рис. 4. ЛЧМ-сигнал з наростаючою частотою: а – представлення в часовій області; б – представлення в частотній області при використанні перетворення Фур'є; в – представлення за допомогою вейвлет-спектра

На рис. 5, а показано КФМ-сигнал у часовій області, Фур'є та вейвлет-спектри перетворення подані відповідно на рис. 5, б, в. Картина вейвлет-коефіцієнтів при зміні параметрів КФМ-сигналу є стійкою, як і в ЛЧМ-сигнала. Зміна ж закону кодування проявляється у вейвлет-спектрі якісно і чітко, що дає змогу отримати інформацію про сигнал (кількість дискрет, їх тривалість).

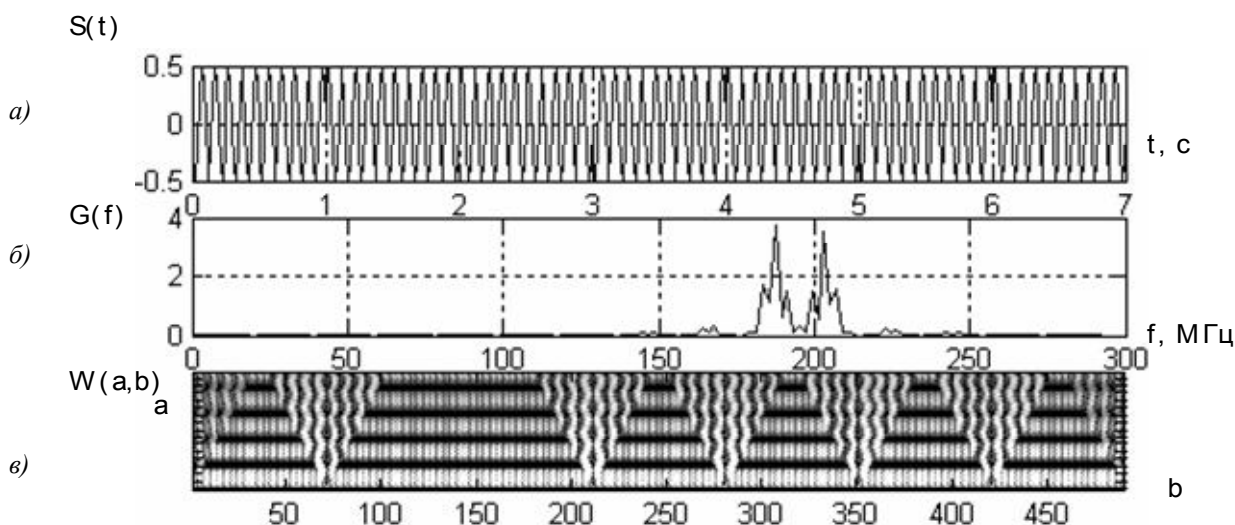


Рис. 5. КФМ-сигнал: а – представлення в часовій області; б – представлення в частотній області при використанні перетворення Фур'є; в – представлення за допомогою вейвлет-спектра

Перші рівні вейвлет-спектра дають змогу більш точно визначити час проходження частотних змін сигналу, а останні рівні надають більш детальну інформацію про подібність дискрет сигналу базовій вейвлет-функції.

За допомогою коефіцієнтів ВП можна визначити закон кодування КФМ-сигналу. Аналіз сигналів показав, що вейвлет-спектри цих сигналів мають якісні відмінності, які не змінюються при зміні параметрів сигналу. Аналіз проводився при використанні вейвлета Добечі.

Висновки. Таким чином, наведені приклади визначили відмінність ВП від ПФ та можливість використання першого для аналізу сигналів з різними видами модуляції. Крім того, ВП можна використовувати для класифікації сигналів. Необхідно наголосити на тому, що ВП не замінює апарат спектрального аналізу і найкраща якість розв'язання задач аналізу та класифікації сигналів буде

досягнута при їх комплексному застосуванні. Усі розрахунки та моделювання проведено за допомогою універсальної інтегрованої системи комп'ютерної математики MATLAB 7.7. У подальших наукових дослідженнях планується розглянути можливість автоматизації процесу класифікації радіотехнічних сигналів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Хорошко В.О.* Пошук та локалізація радіозакладних пристроїв / *В.О. Дорошко, О.Д. Азаров, Г.О. Максименко, Ю.С. 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. *Іванов М.А.* Применение вейвлет-преобразований в кодировании изображений / *М.А. Иванов* // *Новые информационные технологии в науке и образовании.* – 2004. – № 24. – С. 157–175.
4. *Дьяконов В.* Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник / *В.Дьяконов, Г.Авраменкова.* – СПб. : Питер, 2002. – 608 с.
5. *Кобелев В.Ю.* Выбор оптимальных вейвлетов для обработки сигналов и изображений / *В.Ю. Кобелев, А.В. Ласточкин* // *Труды 2-й международной конференции «Цифровая обработка сигналов и ее применения».* – М., 1999. – Т. 2. – С. 514–518.
6. *Яковлев А.Н.* Введение в вейвлет-преобразование : учебное пособие / *А.Н. Яковлев.* – Новосибирск : изд-во НГТУ, 2003. – 104 с.
7. *Проценко М.М.* Методика вибору вейвлет-функції для обробки цифрових сигналів / *М.М. Проценко* // *Вісник ЖДТУ.* – Житомир : ЖДТУ, 2009. – № 49. – С. 97–100.
8. *Коваленко М.В.* Вейвлет-перетворення та його застосування для обробки сейсмічних даних / *М.В. Коваленко, М.М. Проценко* // *Вісник ЖІТІ.* – 2003. – № 24. – С. 82–86.
9. *Коваленко М.В.* Методика стиснення цифрової інформації за допомогою вейвлет-перетворення / *М.В. Коваленко, М.М. Проценко* // *Збірник наукових праць.* – Житомир : ЖВІРЕ, 2003. – Вип. 6. – С. 11–17.
10. *Проценко М.М.* Застосування пакетного вейвлет-перетворення для обробки радіотехнічних сигналів / *М.М. Проценко* // *Збірник наукових праць ЖВІ НАУ.* – Житомир : ЖВІ НАУ, 2009. – № 2. – С. 183–188.
11. *Яковлев А.Н.* Основы вейвлет-преобразования сигналов : учебное пособие / *А.Н. Яковлев.* – М. : САЙНС-ПРЕСС, 2003. – 80 с.
12. *Грабар І.Г.* Застосування вейвлет-перетворення функції вібросигналу в технічній діагностиці механізмів з ударними навантаженнями / *І.Г. Грабар, В.Ф. Запольский, В.К. Захаров, М.Б. Кришевський, Ю.І. Тростенюк* // *Вісник ЖІТІ.* – 2002. – № 23. – С. 16–21.
13. *Дремін І.М.* Вейвлеты и их использование / *И.М. Дремін, О.В. Иванов, В.А. Нечитайло.* – УФН № 5. – 2001. – С. 465–501.
14. *Астафьева Н.В.* Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения / *Н.В. Астафьева.* – УФН № 11. – 1996. – С. 1145–1170.
15. *Левкович-Маслюк Л.И.* Дайджест вейвлет-анализа в двух формулах и 22 рисунках / *Л.И. Левкович-Маслюк* // *КомпьюТерра.* – № 8. – 2008. – 236 с.
16. *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.

ПРОЦЕНКО Михайло Михайлович – кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник наукового центру Житомирського військового інституту імені С.П. Корольова Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:

– цифрова обробка сигналів з використанням вейвлет-перетворень.

Подано 17.01.2010

Проценко М.М. Использование вейвлет-преобразования для анализа цифровых сигналов

Проценко М.М. Использование вейвлет-преобразования для анализа цифровых сигналов

Protsenko M.M. Wavelet transform application for digital signal analysis

УДК 621.396

Использование вейвлет-преобразования для анализа цифровых сигналов / М.М. Проценко

Рассмотрена возможность использования вейвлет-преобразования для проведения спектрального анализа оцифрованных радиотехнических сигналов. Показано, что использование вейвлет-спектра позволяет определять время начала изменения частоты сигнала.

УДК 621.396

Wavelet transform application for digital signal analysis / M.M. Protsenko

Performance of the wavelet transform application for digitized signal spectral analysis is considered. It is shown that wavelet transform application allows define the start frequency variation time of the signal.