

УДК 681.325

Денис Олександрович ЛЕВЧУНЕЦЬ,  
аспірант кафедри радіотехніки та зв'язку  
Хмельницького національного університету, м. Хмельницький

## **ВИЯВЛЕННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЗГОРТКИ СИГНАЛУ З ВЕЙВЛЕТОМ**

*У статті представлено методика виявлення радіолокаційних сигналів на основі аналізу згортки сигналу з вейвлетом. Обґрунтовуються теоретичні засади методу та його переваги. Висвітлено доцільність представленого рішення задачі виявлення сигналів та описуються його подальші перспективи.*

**Ключові слова:** радіолокація, вейвлет, згортка, виявлення, аналіз.

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** У таких системах вилучення інформації, як: радіолокаційні (РЛ), навігаційні та їм подібні [1] однією з основних задач є прийняття рішення про наявність корисного сигналу на приймальній стороні. Наразі існує велика кількість методик з вирішення даної задачі. Особливість використання вейвлет аналізу, крім іншого, обумовлюється свободою інтерпретації під час прийняття вибору. Необхідним є встановлення теоретичних засад для коректної інтерпретації вхідного сигналу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми та на які опирається автор.** Аналіз робіт І. Добеші [2], С. Малла [3], Ч. Чуї [4] показує прикладну направленість вейвлетів. Так, навіть у спеціалізованій літературі [5] значну частину об-

сягу відведено цьому питанню. Розвиток методик з виявлення сигналів наразі переживає новий етап розвитку [2; 6]. Основна ідея якого полягає у приведенні форми вейвлету до корисного сигналу, або ж навпаки.

**Метою статті** є обґрунтування теоретичних засад методики виявлення радіолокаційних сигналів на основі аналізу згортки сигналу з вейвлетом.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Задача виявлення корисних сигналів завжди була наріжним каменем систем вилучення інформації. Як результат, було створено велику кількість методів та алгоритмів виявлення [5]. Разом з тим останні досягнення в області цифрової техніки надали можливість працювати в області високих частот, що вилилось у використання широкосмугових та надширокосмугових РЛ сигналів.

Виявлення РЛ сигналу спотвореного шумами за допомогою методів Фур'є аналізу може призвести до неточної оцінки віддалі до об'єкта спостереження. Це обумовлено використанням часо-частотного фільтра, котрий здійснює сегментацію вхідних даних через використання вікон сталої тривалості, у межах яких сигнал вважається стаціонарним. Розміри вікна змінюють розрізнення щодо частот за рахунок зміни кількості відліків. Альтернативою до часо-частотних представлень слугує вейвлет перетворення.

Роботи [2; 6] вказують на доцільність приведення форми вейвлет функції до корисного сигналу:

$$W(t) = S(t) * X(t), \quad (1)$$

де  $W(t)$  – материнський вейвлет;  $S(t)$  – сигнал;  $X(t)$  – перехідна функція;  $*$  – знак згортки.

Радіоімпульс як найбільш яскравий приклад РЛ сигналу було обрано для проведення подальших розрахунків.

Одним із основних недоліків такого підходу є неортогональність отриманих вейвлетів, тобто коли не виконується така умова:

$$(W_n, W_m) = \delta_{n,m} = \begin{cases} 1, & n = m \\ 0, & n \neq m \end{cases} \quad n, m \in Z, \quad (2)$$

де  $\delta_{n,m}$  – символ Кронекера.

Невиконання умови (2) призводить до впливу дзеркальної енергії на коефіцієнти розкладу. Звичайно, цього можна уникнути підбором коефіцієнтів зсуву та масштабу вейвлету. Що, у свою чергу, зменшує загальну кількість енергії в коефіцієнтах розкладу та ускладнює аналіз через втрату еквідистантності.

Для збереження ортогональності базису пропонується виконувати аналіз перехідної функції  $X(t)$  на основі вейвлет перетворення, до материнської функції якого відбувався перехід. Для обраної функції слід попередньо забезпечити виконання умови (2). Представниками таких функцій є вейвлет Хаара, сімейство Гаусових, Добеші та їм подібні. Для підтвердження висунутих тверджень на прикладі обрано сімейство Гаусових вейвлетів:

$$g_n = (-1)^{n+1} \frac{d^n}{df^n} \left[ \exp\left(\frac{f^2}{2}\right) \right], \quad (3)$$

де  $n$  – порядок функції.

На рис. 1 зображено перші чотири вейвлети сімейства Гаусових.

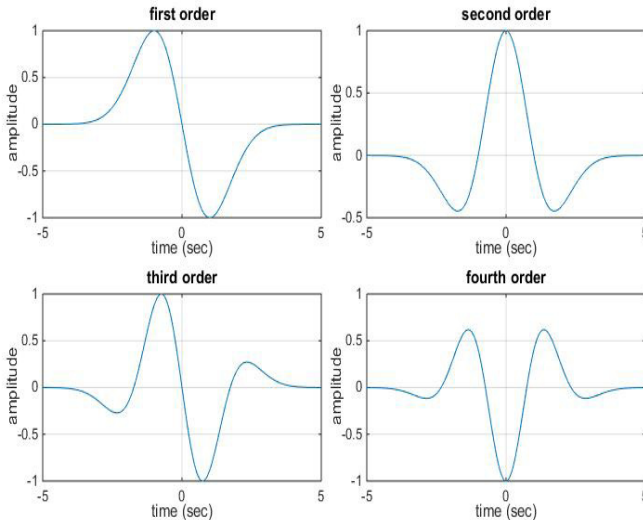


Рис. 1. Гаусові вейвлети перших чотирьох порядків

Максимальний сплеск при вейвлет перетворенні функції  $X(t)$  забезпечується при перекритті спектрів РЛ сигналу та материнського вейвлету та встановленні максимуму їх взаємної енергії, тобто забезпечується умова:

$$E_{\max}(W(k \cdot f), S(f)) = \max \left( \sqrt{\int W(k \cdot f) \cdot S(f) df} \right). \quad (4)$$

де  $k$  – масштабний коефіцієнт.

Результати обчислення аналітичних виразів максимумів взаємних енергій висвітлено на рис. 2.

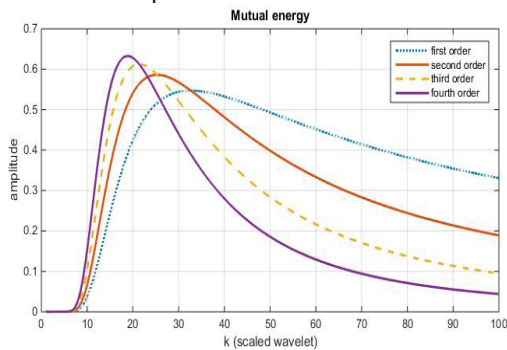


Рис 2. Графіки нормованих взаємних енергій РЛ сигналу та Гаусових вейвлетів

Графіки взаємних енергій на рис. 2 залежно від масштабного коефіцієнта  $k$  вейвлет функції з виразу (4) мають один чітко виражений екстремум. Варто зазначити, що при збільшенні порядку вейвлету максимум взаємної енергії набуває більш гострої форми.

Слід також урахувати дискретну природу апаратної частини та узгодити смугу пропускання вейвлету з частотою дискретизації ( $f_d$ ):

$$\frac{\max(W(k \cdot f))}{\sqrt{2}} \leq \frac{f_d}{2}. \quad (5)$$

У виразі (5) смуга пропускання обмежується на рівні 3 дБ.

Обирається найбільше з отриманих значень максимумів норм серед досліджуваних вейвлетів, встановлюється відповідний йому

масштаб та виконується дискретне (кратномасштабне) вейвлет перетворення функції  $X(t)$ .

Отримана поверхня, що складається з ортогональних коефіцієнтів з еквідистантним кроком, являє собою вихідний графоелемент. Саме з ним відбувається порівняння поверхні згортки зашумленого сигналу.

Наступним кроком є, безпосередньо, прийняття рішення про наявність РЛ сигналу. Його приймають, входячи з різницевої функції вихідного графоелементу та поверхні згортки зашумленого сигналу.

**Висновки.** Використання вейвлет апарату для розв'язання задачі виявлення сигналів надає розробнику певну свободу обумовлену гнучкістю самого апарату. Разом з тим подальший розвиток теорії вейвлетів, представлений у даній статті, дозволяє уникати невизначеності у виборі материнської функції в окреслених рамках. Обґрунтовано доцільність приведення сигналу до вейвлету, а не навпаки. Так, обчислення перехідної функції як функції згортки дозволяє зберегти еквідистантність коефіцієнтів перетворення та уникнути впливу дзеркальної енергії на результат прийнятого рішення.

**Перспективи подальших розвідок у даному напрямку.** У подальшому існує необхідність у розробці теоретичних засад для встановлення порогового рівня при прийнятті рішення. Крім того, неминучим є узагальнення представленої методики для довільного типу сигналу та сімейств вейвлетів.

### Список використаної літератури

1. Казаринов Ю. М. Радиотехнические системы : учеб. для вузов по спец. "Радиотехника" / Ю. П. Гришин, В. П. Ипатов, Ю. М. Казаринов и др.; под ред. Ю. М. Казаринова. – М. : Высш. шк., 1990. – 496 с.
2. Daubechies I. Ten Lectures on Wavelets / I. Daubechies, SIAM 1992. – 470 p.
3. Mallat, S. A wavelet tour of signal processing / S. Mallat, Paris : Ecole Polytechnique, 2008. – 658 p.
4. Chui C. K. Wavelet analysis and its applications / C. K. Chui, Texas : Texas A&M Univercity, 1992. – 266 p.

5. Дьяконов В. П. MATLAB и SIMULINK для радиоинженеров / В. П. Дьяконов. – М. : ДМК Пресс, 2011. – 976 с.

6. Zhu Qibing Research on Signal De-noising Methods Based on the Convolution Type of Wavelet Packet Transformation 26.29.2008 “Signal Processing” / Qibing Zhu, Beijing ICSP, 2008. – 363 p.

*Рецензент – кандидат технічних наук, доцент Чесановський І. І.*

*Стаття надійшла до редакції 10.02.2015ж*

**Левчунець Д. О. Обнаружение радиолокационных сигналов на основе анализа свертки сигнала с вейвлетом**

В статье представлено методику обнаружения радиолокационных сигналов на основе анализа свертки сигнала с вейвлетом. Обосновываются теоретические основы метода и его преимущества. Освещены целесообразность представленного решения задачи обнаружения сигналов и описываются его дальнейшие перспективы.

**Ключевые слова:** радиолокация, вейвлет, свертка, обнаружение, анализ.

**Levchunets D. O. Radar signals detection based on the wavelet and signal convolution analysis**

In information extraction systems such as: radar, radio navigation, and similar to them one of the main tasks is to assessing whether there is signal at the receiving side. At present there are many methods to solve this problem. Among other things the special feature of wavelet analysis caused by the opportunity to make an interpretation of data. It is essential to establish theoretical bases for the correct interpretation of the input signal.

The task of identifying useful signals always been the cornerstone of information extraction systems. As a result, a large number of methods and algorithms for detection were created. However, recent advances in digital technology gave an opportunity to work in the high frequencies. Which resulted in the use of broadband and ultra wideband radar signals.

Detecting radar signal distorted by noise using Fourier analysis methods can lead to inaccurate estimation of the distance to the object of observation.

This is due to the use of time-frequency filter which performs segmentation of the input data by using windows with constant duration. Within which the signal is considered stationary. Window size change distinction between the frequencies by changing the number of samples. Wavelet transform serve as an alternative to the time-frequency representation.

This paper presents the method of radar signals detection based on an convolution analysis of wavelet and signal. Using wavelet apparatus for solving the signal detection problem provides the developer an opportunity to choose due to the flexibility of the transformation. However, further development of the theory of wavelets that presented in this paper allows to avoid the uncertainty in parent function selecting that lead in outlined framework. Expediency of exact conversion signal to the wavelet rather than vice versa are proved.

Theoretical principles of the method and its advantages are grounded. the feasibility of the signal detection problem solution are highlighted. Such as described its future prospects.

**Keywords:** *radar, wavelet convolution, detection, analysis.*