УДК 621.396.967

к.військ.н. **Нікіфоров М.М.** (ВІКНУ)

ОБРОБКА ВІДБИТОГО СИГНАЛУ В РЛС З ВИКОРИСТАННЯМ ВЕЙВЛЕТ АНАЛІЗУ

У статті досліджено спектральний аналіз відбитого сигналу з використанням вейвлет перетворень. Вейвлет аналіз дозволяє виявити просторово розподілені властивості об'єкту, що вивчається, отримати локальну високочастотну і глобальну великомасштабну інформацію про об'єкт. Сформовані основні вимоги до базисних функцій вейвлет-перетворення при рішенні задачі спектральної обробки сигналу, це - локализованність за часом і частотою, що забезпечує виявлення особливостей тонкої структури ехо-сигналів та ортонормірованість. Зроблене висновок, що одним з достоїнств вейвлет перетворення є можливість стискування сигналу при незначних втратах енергії, що дозволяє понизити витрату апаратних засобів для зберігання еталонів, а також використання вейвлет-фільтрів для очищення сигналів від шуму.

Ключові слова: вейвлет перетворення, ехо сигнал, вейвлет-аналіз, спектральний аналіз.

Вступ і постановка завдання. Нині вейвлет-аналіз починає застосовуватися для прямого чисельного моделювання як ієрархічний базис, добре пристосований для опису динаміки складних нелінійних, у тому числі нестаціонарних, процесів, що характеризуються взаємодією збурень в широких діапазонах просторових і часових частот. Він дозволяє виявити просторово розподілені властивості об'єкту, що вивчається, отримати локальну високочастотну і глобальну великомасштабну інформацію про об'єкт і багато що інше досить точно і без надмірності.

Вейвлет-перетворення виявляється дуже зручним інструментом для вирішення завдань радіолокації третього рівня ієрархії (класифікації об'єктів), оскільки елементи його базису добре локалізовані і мають рухливе частотно-часове вікно [1,2].

Вважаємо даний сигнал таким, що належить до простору $L^2(R)$ функцій, що визначенні на усій дійсній осі $R(-\infty,\infty)$ і мають кінцеву енергію (нормою)

$$E_f = \int_{-\infty}^{\infty} \left| f(t) \right|^2 dt < \infty . \tag{1}$$

Для практичних цілей обробки ехо-сигналів базисні функції розкладання, що утворюють простір $L^2(R)$, повинні прагнути до нуля на $\pm\infty$. Цій умові якраз і задовольняють вейвлет-функції, добре локалізовані "маленькі хвилі." В силу локалізованості у часі одна вейвлет-функція $\psi_0(t)$, не може покрити увесь простір $L^2(R)$ тому для вейвлет-розкладення формується базисний простір, породжений однією "материнською" вейвлет-функцією. Вейвлет-базис формується на основі $\psi_0(t)$ шляхом переміщення її в часі, функції $\psi_0(t-b), \mathrm{b} \in \mathrm{R}$ и масштабування $a^{-1/2}\psi_0\left(\frac{t}{a}\right)$, при $\mathrm{a} > 0, \quad \mathrm{a} \in \mathrm{R}^+ - \{0\}$, де параметр a, задає ширину пакету a, b - його положення в часі [3].

Тоді функція набере вигляд

$$\psi(\mathrm{t}) \equiv \psi(a,b,t) = a^{-1/2}\Psi_0\left(\frac{t-b}{a}\right). \tag{2}$$

Набір можливих функцій $\psi_0(t)$ досить великий, проте усі вони повинні задовольняти умовам локальності в часі:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \Psi(t) dt = 0 , \tag{3}$$

та кінцевої енергії :

$$\int_{-\infty}^{\infty} \Psi^{2}(t)dt < \infty \quad . \tag{4}$$

Найбільший інтерес з точки зору вирішуваної задачі мають ортонормовані базиси. Звідси вейвлет-функції повинні задовольняти двом умовам:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi_k(t)\Psi_i(t)dt = \delta_{k,\mathrm{i}} , \tag{5}$$

де $\delta_{k,\mathrm{i}}$ - символ Кронекера;

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi^2(t)dt = 1 . \tag{6}$$

Вираз (5) означає некорелірованність вейвлет-функцій вибраного базису, а (6) одиничність їх норми. Вище викладене дозволяє представити відбитий сигнал у вигляді зваженої суми простих складових - базисних функцій (t) помножених на коефіцієнти C_k .

$$y(t) = \sum_k C_k \psi_k(t) . \tag{7}$$

Оскільки базисні функції $\psi_k(t)$ задані як функції цілком певного виду, то тільки коефіцієнти C_k містіть інформацію про конкретний ехо-сигнал. Отже, саме вони можуть використовуватися як ознаки об'єктів при рішенні задачі радіолокаційного розпізнавання. Коефіцієнти C_k розраховуються по формулі (3):

$$\mathrm{C}(\mathrm{a},\mathrm{b}) = \langle \mathrm{y}(\mathrm{t}), \psi(\mathrm{a},\mathrm{b},\mathrm{t}) \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} y(t) a^{-1/2} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, \tag{8}$$

де $\langle \ \rangle$ означає скалярний добуток відповідних співмножників.

З урахуванням локальності частотного спектру ехо-сигналів вираження (8) наводиться до виду:

$$C(a,\mathrm{b}) = \int y(t) a^{-1/2} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt . \tag{9}$$

Вирази (8), (9) визначають пряме безперервне вейвлет перетворення - розкладання сигналу по заданому базису. Зворотне безперервне вейвлет-перетворення здійснюється по формулі реконструкції в тимчасовій області, яка має ряд форм, залежних від визначення областей існування сигналу :

$$\mathrm{y}(\mathrm{t}) = C_\psi^{-1} \int_y \int_y C(a,\mathrm{b}) a^{-1/2} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \frac{dadb}{a^2} . \tag{10}$$

Нормуюча постійна C_ψ визначається на основі Фур'є-образу $\psi(\omega)$ від базисного вейвлета наступним виразом:

$$C_\psi = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\psi(\omega)|}{|\psi(\omega)|} d\omega . \tag{11}$$

Константа $C_\psi < \infty$, що звужує клас функцій ψ з простору $\mathrm{L2}(\mathrm{R})$, які можуть бути використані в якості базисних функцій вейвлет-перетворення. У разі позитивно певних функцій ψ межі інтеграції в (10, 11) обмежуються областю $R+$. У короткому записі вейвлет перетворення представимо у виді: $W[y] = W(a,\mathrm{b})$.

Таким чином, основними вимогами до базисних функцій вейвлет-перетворення при рішенні задачі спектральної обробки сигналу являються:

- хороша локалізованність за часом і частоті, що забезпечує виявлення особливостей тонкої структури ехо-сигналів;
- ортонормірованність.

Для прикладу розглянемо квазі безперервне гармонійне коливання в якості зондуючого сигналу. Відбитий від цілі сигнал в двопозиційній РЛС матиме вигляд (рис. 1). Як видно з рис. 1 перетворення Фур'є надає інформацію про той спектр частот, що є присутнім у сигналі в проміжку часу від 0 до 1 сек., при цьому нам невідомо коли саме та або інша частота реально була присутня в сигналі.

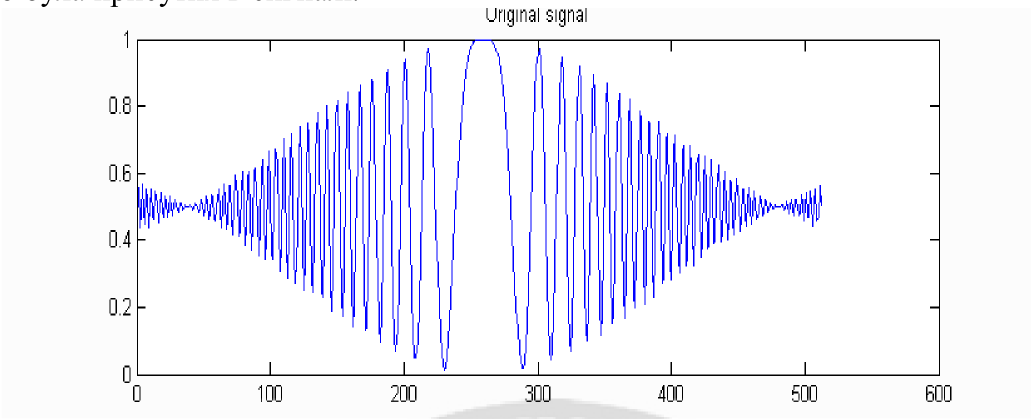

Рис. 1 Відбитий сигнал

Проведений спектральний аналіз відбитого сигналу з використанням вейвлет аналізу дозволяє виявити локальні особливості сигналу, невидимі при розкладанні сигналу в ряд Фур'є. У той же час вейвлет-перетворення дають вичерпну картину динаміки зміни частотних характеристик у часі. Все це вказує на те, що вейвлет-перетворення являється суттєво більш інформативним в порівнянні з перетворенням Фур'є. Результуюча спектрограма відбитого сигналу, матиме наступний вигляд (рис. 2).

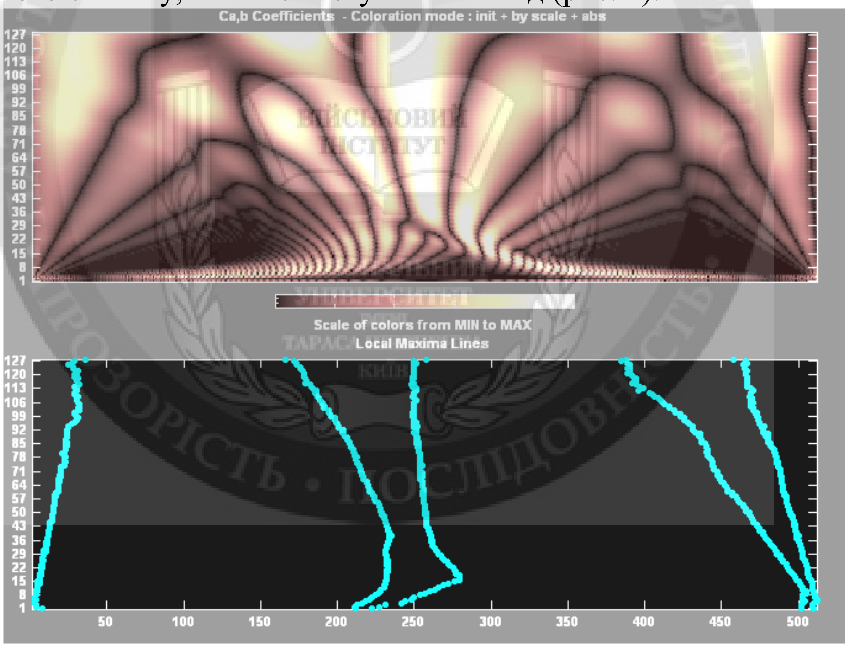

Рис. 2 Результуюча спектрограма.

а) Спектрограма відбитого сигналу б) Лінії локальних максимумів

Висновки.

1. Таким чином одним з достоїнств вейвлет-перетворення являється можливість стискування сигналу при незначних втратах енергії, що дозволяє використовувати вейвлет-фільтри для очищення сигналів від шуму.

2. Проведений спектральний аналіз відбитого сигналу з використанням вейвлет аналізу дає вичерпну картину динаміки зміни частотних характеристик у часі. Все це вказує на те, що вейвлет-перетворення являється суттєво більш інформативним.

ЛІТЕРАТУРА:
1. Филипский Ю.К. Сравнительный анализ частотно-временных методов обработки сигналов / Ю.К. Филипский, А.Р. Агаджанян // Труды Одесского поли- технического университета. – 2009. – № 1. – С. 175–179.
2. Лазоренко О.В, Лазоренко С.В. , Вайвлет-анализ модельных сверхширокополосных сигналов. / О.В. Лазоренко, С.В. Лазоренко // Успехи современной радиоэлектроники. – 2006. - № 8. - С. 47-61.
3. Смоленцев Н.К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB / Н.К. Смоленцев. – М.:ДМК. - 2008. – 448с.

REFERENCE:
1. Filipskij Ju.K. Sravnitel'nyj analiz chastotno-vremennyh metodov obrabotki signalov / Ju.K. Filipskij, A.R. Agadzhanjan // Trudy Odesskogo politehnicheskogo universiteta. – 2009. – № 1. – S. 175–179.
2. Lazorenko O.V, Lazorenko S.V. , Vajvlet-analiz model'nyh sverhshirokopolosnyh signalov. / O.V. Lazorenko, S.V. Lazorenko // Uspehi sovremennoj radiojelektroniki. – 2006. - № 8. - S. 47-61.
3. Smolencev N.K. Osnovy teorii vejvletov. Vejvlety v MATLAB / N.K. Smolencev. – M.:DMK. - 2008. – 448s.:

Без рецензії.

к.воен.н. Никифоров Н.Н.

ОБРАБОТКА ОТРАЖЕННОГОСИГНАЛА В РЛС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕЙВЛЕТ АНАЛИЗА

В статье проведено спектральный анализ отраженного сигнала с использованием вейвлет преобразований. Вейвлет анализ позволяет выявить пространственно распределенные свойства изучаемого объекта, получить локальную высокочастотную и глобальную крупномасштабную информацию об объекте и многое другое достаточно точно и без избыточности. Сформированы основные требования к базисным функциям вейвлет-преобразования при решении задачи спектральной обработки сигнала это - хорошая локализованность по времени и частоте, обеспечивающая выявление особенностей тонкой структуры эхо-сигналов и ортонормированность.

Сделано вивод, что одним из достоинств вейвлет преобразования является возможность сжатия сигнала при незначительных потерях энергии, что позволяет снизить затрату аппаратных средств для хранения эталонов, а также использование вейвлет-фильтров для очистки сигналов от шума.

Ключевые слова: вейвлет преобразование, эхо сигнал, вейвлет-анализ, спектральный анализ.

Ph.D. Nikiforov N.N.

REFLECTED SIGNAL PROCESSING IN RADAR USING WAVELET ANALYSIS

The author has conducted a spectral analysis of the reflected signal using wavelet transforms. Wavelet analysis allows to identify spatially distributed properties of the object, get local high-frequency and global large-scale information about the object and other information accurately and without redundancy. The basic requirements for the basic functions of the wavelet transform have been drawn up in solving the task of the signal spectral processing, that is a good localization in time and frequency, ensuring the identification of the features of the echo signals' fine structure and orthonormality.

A conclusion was made that one of the advantages of wavelet transform is the ability to compress the signal at low energy loss, which reduces the cost of hardware for conservation of standards, as well as the use of wavelet filters to clean the signals from the noise.

Keywords: wavelet transform, the echo signal, wavelet analysis.