

УДК 681.325

І. Я. Тишик

МАЛОХВИЛЬОВИЙ (WAVELET) АНАЛІЗ ЗОНДУВАЛЬНИХ ШИРОКОСМУГОВИХ СИГНАЛІВ

Запропоновано здійснювати оброблення зондувального та відбитого широкосмугових сигналів у вейвлет-області з метою підвищення точності оцінювання статичних та динамічних характеристик об'єктів. Наведено результати моделювання зондувальних широкосмугових сигналів у часовій та часо-частотній областях, наведена оцінка похибок.

Вступ

Використання широкосмугових сигналів у системах локації дає нові можливості оцінювання статичних та динамічних характеристик об'єктів зондування [1]. Під час аналізування та оброблення таких сигналів виникає проблема забезпечення необхідної точності оцінювання вказаних характеристик внаслідок спотворення відбитого сигналу зовнішніми та внутрішніми завадами [2]. Мінімізувати вплив завад у багатьох випадках вдається підбором оптимальних значень зондувальних сигналів та використанням цифрової фільтрації [3]. Проте часто подолати вплив завад на корисний сигнал до прийняттого рівня не вдається, що призводить до зменшення точності оцінювання згаданих характеристик.

Аналіз досліджень та публікацій

В багатьох сучасних системах локації (радіолокація, медицина, охоронні системи) з метою одержання необхідних оцінок параметрів руху об'єктів зондування та забезпечення їх високих роздільних здатностей, в якості зондувальних використовуються широкосмугові сигнали [4]. У традиційних вузькосмугових системах з імпульсами великої тривалості роздільна здатність щодо віддалі досягається застосуванням частотної модуляції зондувального імпульсу, що істотно розширює його ефективний спектральний діапазон [5]. При цьому відбитий сигнал обробляється за допомогою цифрових методів. Однак, в процесі цифрового оброблення виникають паразитні бічні смуги, через які може здійснюватися підмішування до інформативного сигналу відбитих сигналів від прилеглих об'єктів [6]. Це знижує роздільну здатність щодо віддалі об'єкта спостереження. Такої проблеми можна уникнути для локаційних систем із короткими мікрохвильовими імпульсами. Сигнали у вхідних колах приймача такої системи, зазвичай, подаються відеоімпульсами відповідної форми та тривалості [7].

Для оцінювання статичних та динамічних характеристик об'єктів зондування на основі таких сигналів переважно використовують кореляційно-фільтрові методи оброблення [8]. Ефективність таких методів втрачається, якщо сигнали обробляються з високим вмістом завад при невідомій апріорній інформації про їх вид та характер зміни.

Мета роботи полягає в дослідженні можливості аналізу зондувального та відбитого широкосмугових сигналів у малохвильовій (вейвлет) області для підвищення точності оцінки статичних та динамічних характеристик об'єктів.

Малохвильовий аналіз широкосмугових сигналів

Пропонується і досліджується можливість використання нового методу оброблення широкосмугових сигналів на основі їх малохвильового перетворення. Роздільні здатності малохвильових перетворень мають властивість залишатися постійними протягом багатьох октав зміни частоти, а тому вони дозволяють здійснювати оцінку і порівняння зондувальних широкосмугових сигналів. Така власти-

вість малоохвильового перетворення досягається за рахунок постійної зміни розміру вікна та фіксації кількості циклів в аналізуючому «ядрі».

Реалізація такого методу перетворення здійснюється на основі операції розкладу сигналу на піддіапазони за допомогою одного з відомих алгоритмів [9], що забезпечує підсмугове кодування дискретних послідовностей сигналу. Згідно теорії малоохвильового перетворення масштабні і малоохвильові функції розглядаються як функції фільтрів, які отримуються з умов кратномасштабного аналізу [10]. Розклад на малоохвильові складові послідовностей дискретних значень вхідного сигналу відбувається за рахунок операції згортки його значень із фільтровими коефіцієнтами. Крім того, стає можливим обчислення малоохвильових і масштабних коефіцієнтів $d_{j,n}$ та $c_{j,n}$ для різних масштабів j

$$c_{j,n} = \sqrt{2} \sum_k h_{k+2n} c_{j-1,n}; \quad (1)$$

$$d_{j,n} = \sqrt{2} \sum_k g_{k+2n} c_{j-1,n}, \quad (2)$$

де $c_{j-1,n}$ — вхідна послідовність коефіцієнтів, довжина яких удвічі більша вихідних послідовностей $c_{j,n}$ і $d_{j,n}$; h_k та g_k — вихідні послідовності низько- та високочастотного фільтрів відповідно.

Оцінка характеристик об'єкта зондування у часовій та вейвлет-областях

У загальному випадку, випромінюваний (опорний) широкосмуговий сигнал $s(t)$ подається як прямокутний імпульс одиничної амплітуди деякої тривалості τ_0 . Відбитий від об'єкта сигнал моделюється як нормована та зашумлена версія випромінюваного сигналу тривалістю τ_B

$$s'(t) = s(t) - s(t - \tau_B) + f(t), \quad (3)$$

де $f(t)$ — шумовий сигнал.

Оскільки розглядається випадок, коли об'єкт наближається до спостерігача, то тривалість відбитого імпульсу буде зменшуватися відносно тривалості випромінюваного ($\tau_0 \geq \tau_B$). Згідно ефекту Доплера залежність між швидкістю руху об'єкта та тривалістю відбитого імпульсу є лінійною.

У часовій області різницеве інформативне значення R_t оцінки руху об'єкта на основі RC-фільтрації визначається як

$$R_t = \int_0^T s(t) - s'(t) dt, \quad (4)$$

де T — інтервал оброблення.

При дискретному малоохвильовому перетворенні вхідної послідовності вибірок зондувального сигналу $s[k]$ малоохвильові і масштабні коефіцієнти $d_{j,n}$ та $c_{j,n}$ розраховуються як

$$d_{j,n} = \sum_n s[k] h_j [k - 2^j n]; \quad (5)$$

$$c_{j,n} = \sum_n s[k] g_j [k - 2^j n], \quad (6)$$

де $h_j [k - 2^j n]$ та $g_j [k - 2^j n]$ — аналізуючі дискретні малоохвильова та масштабна функції відповідно. Ці функції отримуються ітеративно [9, 10, 11].

Відповідно малоохвильові $d'_{j,n}$ і масштабні коефіцієнти $c'_{j,n}$ для вхідної послідовності відбитого сигналу $s' [k]$ розраховуються як

$$d'_{j,n} = \sum_n s[k] h_j [k - 2^j n]; \quad (7)$$

$$c'_{j,n} = \sum_n s[k] g_j [k - 2^j n]. \quad (8)$$

Різницеве інформативне значення R_w оцінки руху об'єкта у малоохвильовій області визначається

ЯК

$$R_w = c_J - c'_J + \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^{N/2^j} (d_{j,n} - d'_{j,n}), \quad (9)$$

де $d_{j,n}$, $d'_{j,n}$ — послідовності n деталізуючих коефіцієнтів декомпозиції випромінюваного та відбитого сигналів відповідно, отриманих на відповідних рівнях перетворення j ; c_J , c'_J — масштабні коефіцієнти декомпозиції випромінюваного та відбитого сигналів відповідно, отриманих в результаті виконання останнього рівня перетворення $J + 1$; N — скінчений набір вхідних даних сигналу.

На основі отриманого виразу (9) можна зробити висновок, що оцінка різницевого значення залежить від величини масштабних коефіцієнтів найнижчої частотної підсмуги та малохвильових коефіцієнтів усіх підсмуг. Основною особливістю даного подання є те, що воно дає можливість як легко фільтрувати завади і враховувати спотворення сигналу, так і оцінювати значення R безпосередньо у часо-частотній області. Зі зменшенням тривалості відбитого від рухомого об'єкта імпульсу пропорційно зменшується значення малохвильових коефіцієнтів його декомпозиції $c'_{j,n}$ та $d'_{j,n}$.

Моделювання процесу зондування об'єктів із вейвлет-перетворенням сигналів

Спрощена структурна схема моделювання, показана на рис. 1, складається з трьох основних частин. Перша частина містить схему моделювання процесу оцінювання різницевого значення зондувального (опорного) $s(t)$ та відбитого $s'(t)$ вхідних сигналів, які піддаються попередньому дискретному вейвлет-перетворенню. Друга частина структурної схеми складається зі схеми комп'ютерного моделювання (згідно виразу (4)) процесу оцінювання різницевого значення згаданих сигналів класичним способом. Результати оцінювання значень такої схеми вважаються вірцевими і використовуються для порівняння.

Третя частина структури складається з пристроїв візуального спостереження та пристроїв порівняння отриманих результатів, на основі яких виконуються обчислення похибок перетворення. У склад схеми комп'ютерної моделі процесу оброблення зондувального та відбитого ширококутних сигналів на основі вейвлет-перетворення входять: пристрій генерування вхідних сигналів (відбитого та опорного), пристрій дискретизації вхідних сигналів, блоки вейвлет-перетворення вхідних сигналів, пристрій підсумовування коефіцієнтів на відповідних рівнях перетворення та пристрій оцінки різниці вейвлет-коефіцієнтів.

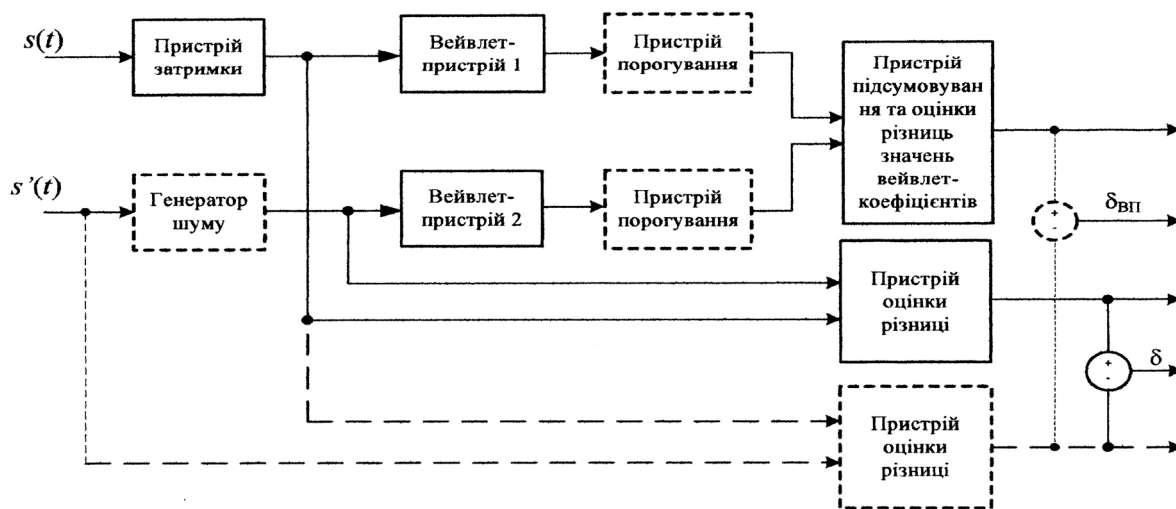


Рис. 1. Спрощена структурна схема комп'ютерного моделювання процесу оброблення зондувального та відбитого ширококутних сигналів

Моделювання випромінюваного та відбитого сигналів у вейвлет-області здійснювалося з вико-

ристанням базових вейвлет-функцій Добеші 6-го порядку та пірамідального алгоритму Маллата [7, 9, 10]. Кількість частотних піддіапазонів розкладу вхідних сигналів змінювалась від 7 до 9. Розкладені на частотні піддіапазони вхідні сигнали, які представлені у вигляді вейвлет-коефіцієнтів (5, 6) і (7, 8), підсумовуються на відповідних рівнях упродовж інтервалу оброблення. Остаточне різницеве інформативне значення R_w формується в кінцевому пристрої оцінки різниць.

Комп'ютерне моделювання запропонованого процесу оброблення зондувального та відбитого ширококутних сигналів базується на використанні виразу (4). Для цього випадку на наведеній вище структурній схемі моделювання (рис. 1) вводяться додаткові елементи схеми (позначені пунктиром). До них входять генератор шуму, пристрої пороговування, пристрій оцінки різниці, на який не подається зашумлений вхідний сигнал, та пристрій порівняння. За допомогою генератора шуму, сигнал якого накладається на відбитий сигнал, змінюється рівень шуму.

В однотипних пристроях пороговування для зменшення впливу шумів виконується адаптивне пороговування отриманих вейвлет-коефіцієнтів опорного та відбитого сигналів, яке встановлюється на кожному рівні перетворення окремо.

Додаткова схема моделювання процесу оцінювання різницевого значення опорного та відбитого вхідних сигналів аналогічна до схеми моделювання, яка функціонує за класичним методом.

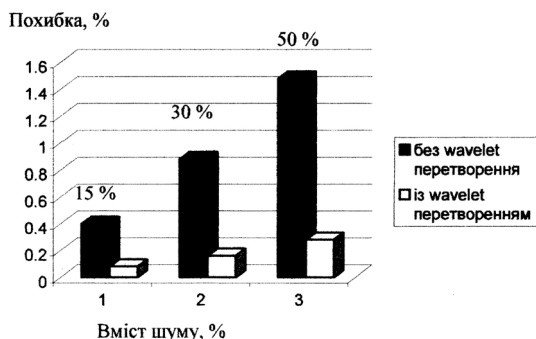


Рис. 2. Оцінювання похибок різницевих значень опорного та відбитого ширококутних сигналів від процентного вмісту шуму у відбитому сигналі для семи частотних піддіапазонів розкладу

Однак, якщо на входи останньої тепер подаються опорний та зашумлений відбитий сигнали, то на входи додаткової схеми подаються ті самі вхідні сигнали, але без завад. Додаткова схема призначена для оцінювання ефективності запропонованої схеми оброблення зондуваних сигналів.

Результати оцінювання похибок від процентного вмісту шуму у відбитому сигналі показані на рис. 2, 3, 4. На імітований відбитий сигнал безпосередньо накладався білий шум із гаусівським розподілом, рівень якого змінювався в межах 15...50 % від рівня максимальної амплітуди сигналу.

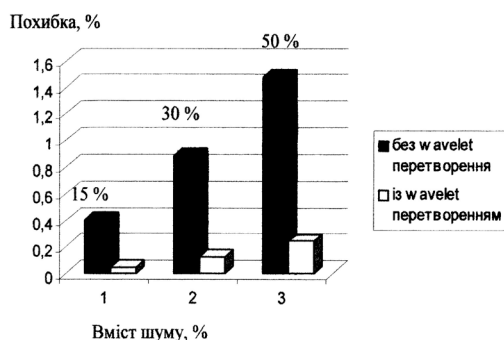


Рис. 3. Оцінювання похибок різницевих значень опорного та відбитого ширококутних сигналів від процентного вмісту шуму у відбитому сигналі для восьми частотних піддіапазонів розкладу

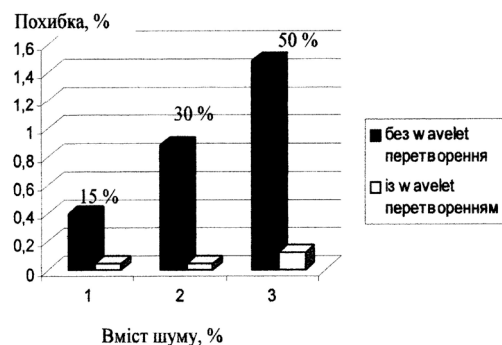


Рис. 4. Оцінювання похибок різницевих значень опорного та відбитого ширококутних сигналів від процентного вмісту шуму у відбитому сигналі для дев'яти частотних піддіапазонів розкладу

Результати досліджень показують, що запропонована схема процесу оброблення зондувального та відбитого ширококутних сигналів має набагато вищу завадостійкість порівняно з традиційною схемою.

Висновки

1. Показано, що для ефективного оброблення ширококутних сигналів доцільно використовувати моделі, які базуються на вейвлет-перетворенні. Такі подання дозволяють отримати постійну роздільну здатність сигналів у широкому діапазоні частот.

2. Показано, що оцінку зондування рухомих об'єктів можна проводити безпосередньо у часо-частотній області без використання зворотного перетворення.

3. Результати моделювання показують, що оцінка динамічних характеристик об'єктів зондування на основі вейвлет-перетворення широкосмугових зондувальних сигналів, має вищу завадостійкість і точність перетворення у порівнянні з відомими методами оброблення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Fontana R. J., Recent System Applications of Short-Pulse Ultra-Wideband (UWB) Technology // IEEE Transactions on microwave theory and techniques. 2004. Vol. 52, No 9, September.
2. Наконечний А. Й., Тишик І. Я. Оцінка параметрів руху об'єктів на основі малохвильового перетворення сигналів // Вісник НУ «Львівська політехніка», Автоматика, вимірювання та керування. — 2006. — № 551. — С. 80—85.
3. Скосырев В. Н. Особенности и свойства сверхкороткоимпульсной локации. Конспекты лекций. — ССРС, Россия. — Муром: 2003, Июль. — С. 67—91.
4. Федотов Д. В., Судаков А. А., Сигналы используемые в СШП радиосистемах // Научные технологии, 2005. — Апрель.
5. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. — М.: Мир, 1978. — С. 789.
6. Ширман Я. Д., Манжос В. Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. — М.: Радио и связь, 1981. — 212 с.
7. Головин О. В. Радиоприемные устройства — М.: Высшая школа, 1997.
8. Тихонов В. И. Оптимальный прием сигналов. — М.: Радио и связь, 1983.
9. Наконечний А. Й. Теорія малохвильового перетворення та її застосування. — Львів: Фенікс, 2001. — С. 93.
10. Воробьев В. И., Грибунин В. Г. Теория и практика вейвлет-преобразования. — М.: ВУС, 1999. — С. 31.
11. Дьяконов В. П. Вейвлеты. От теории к практике. СОЛОН-Р. — М., 2002. — С. 113.

Матеріали статті рекомендовані до опублікування оргкомітетом III Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування (СПРТП-2007)» (31.05—2.06.2007 р.)

Надійшла до редакції 30.09.07
Рекомендована до друку 04.10.07

Тишик Іван Ярославович — старший викладач кафедри захисту інформації НУ «Львівська політехніка»