

*Signal Processing for Fault Diagnosis, vol. 260, (1997) 2/1-2/6. 2. Шаповалова С.И., Шараевский Г.И. Диагностика подшипниковых узлов парового турбоагрегата АЭС при помощи нейронной сети // V Международная конференция "Интеллектуальный анализ информации ИАИ-2005": Киев, 17–20 мая 2005 г.: Сб. тр. под редакцией Т.А. Таран. – К.: Просвіта, 2005. – С. 296–301. 3. Kohonen, T. The self-organizing map. *Proceeding of the IEEE, vol. 78, no. 9, (1990), pp. 1464–1480.* 4. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2001. – 287 с. 5. Люгер Дж. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем: Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2004. – 864 с. 6. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. – 1104 с.*

УДК 681.325

І.Я. Тишик

Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра захисту інформації

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЗОНДУЮЧИХ НАДШИРОКОСМУГОВИХ СИГНАЛІВ

© Тишик І.Я., 2007

Запропоновано обробляти зонduючий та відбитий надширокоосмугові сигнали у вейвлет-області з метою покращання точності оцінювання статичних та динамічних характеристик об'єктів. Наведено результати моделювання зонduючих надширокоосмугових сигналів у часовій та часо-частотній областях, наведено оцінку похибок.

The ultrawideband sounding and echo signals processing in a wavelet area is proposed with purpose the improvement of estimation accuracy for static and dynamic characteristic of objects. The results of design the ultrawideband soundings signal processing are resulted in time and time-frequency areas, an estimation is given to the errors.

Вступ

Використання надширокоосмугових сигналів у системах локації дає змогу значно збільшити роздільну здатність для виявлення об'єктів малих розмірів та розпізнавання об'єктів великих розмірів, розширяє нові можливості оцінювання їх статичних та динамічних характеристик [1]. Під час аналізу та оброблення таких сигналів виникає проблема забезпечення необхідної точності оцінювання вказаних характеристик унаслідок спотворення відбитого сигналу зовнішніми та внутрішніми завадами [2]. Мінімізувати вплив завад у багатьох випадках вдається підбором оптимальних значень зонduючих сигналів та використанням цифрової фільтрації [3]. Проте часто подолати вплив завад на корисний сигнал до прийнятного рівня не вдається, що погіршує точність оцінювання згаданих характеристик.

Аналіз досліджень та публікацій

Однією з основних вимог до локаційних систем є вимога забезпечення необхідної роздільної здатності рухомого об'єкта, що має малу ефективну площу розсіювання на тлі нерухомого або малорухомого об'єкта з великою ефективною площею розсіювання [1]. У традиційних вузькоосмугових системах з імпульсами великої тривалості роздільної здатності щодо віддалі досягають застосуванням частотної модуляції зонduючого імпульсу, що істотно розширює його ефективний спектральний діапазон [4]. При цьому відбитий сигнал обробляється за допомогою цифрових методів. Однак, у процесі цифрового оброблення виникають паразитні бічні смуги, через які до інформативного сигналу можуть підмішуватися відбиті сигнали від прилеглих об'єктів [5]. Отже,

відбитий сигнал від об'єкта з великою ефективною площею розсіювання може повністю маскувати сигнал від об'єкта з малою ефективною площею розсіювання, який знаходиться поблизу нього. Такої проблеми не існує для локаційних систем із короткими мікрохвильовими імпульсами. [6] Оскільки електромагнітне випромінювання поширюється на 30 см за 1 наносекунду, то при використанні зондуючих імпульсів тривалістю у декілька наносекунд може бути безпосередньо забезпечена роздільна здатність вимірювання в 1 м. Так може бути виявлений рухомий об'єкт на тлі значної стаціонарної перешкоди.

Для оцінювання віддалі за допомогою таких сигналів переважно використовують кореляційно-фільтрові методи оброблення [7]. Ефективність таких методів втрачається, якщо сигнали обробляються з високим вмістом завад у разі невідомої апіорної інформації про їхній вид та характер зміни.

Мета роботи

Мета роботи полягає у дослідженні можливості аналізу зондувального та відбитого надширокосмугових сигналів у вейвлет-області для підвищення точності оцінки статичних та динамічних характеристик об'єктів.

Надширокосмугові системи

Локаційні системи належать до класу надширокосмугових, коли тривалість зондуючого імпульсу у просторі стає співмірною або меншою за просторову віддаль до об'єкта спостереження. Ця умова, як правило, виконується із зменшенням тривалості сигналу до 1 нс і менше. При цьому істотно підвищується роздільна здатність і точність вимірювання відстані до об'єкта спостереження, зменшується "мертва зона" системи, підвищується її стійкість до впливу усіх видів пасивних завад і спрощується спостереження за переміщенням об'єкта на тлі потужних відбивань від нерухомих об'єктів.

Сьогодні у надширокосмугових локаційних системах переважно застосовують два типи імпульсів: гауссові імпульси – набір ортогональних імпульсів, описуваних гауссовою функцією і похідними її вищих порядків, та радіоімпульси – заповнені гармонійним коливанням імпульси з гауссовою огибаючою [8].

Вейвлет-аналіз надширокосмугових сигналів

У роботі пропонується і досліджується можливість використання нового методу оброблення надширокосмугових сигналів на основі їх вейвлет-перетворення. Вейвлет-перетворення забезпечує пропорційну роздільну здатність у кожній частотній смузі, що дає змогу створювати вікна з постійними фрактальними роздільними здатностями ширини смуг, за рахунок чого можливі аналіз та порівняння ширококосмугових сигналів [2, 7].

Такий метод перетворення реалізується на основі операції розкладу сигналу на піддіапазони за допомогою одного з відомих алгоритмів [9], що забезпечує підсмугове кодування дискретних послідовностей сигналу. Згідно з теорією вейвлет-перетворення масштабні і малохвильові функції розглядаються як функції фільтрів, які виводяться з передумов кратномасштабного аналізу [10]. Розклад на малохвильові складові послідовностей дискретних значень вхідного сигналу відбувається за рахунок операції згортки його значень із фільтровими коефіцієнтами. Крім того, стає можливим обчислення малохвильових і масштабних коефіцієнтів $d_{j,n}$ та $c_{j,n}$ для різних масштабів j :

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

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

де $c_{j-1,n}$ – вхідна послідовність коефіцієнтів, довжина яких удвічі більша за вихідні послідовності $c_{j,n}$ 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) надширокосмуговий сигнал подається як гауссів імпульс одиничної амплітуди деякої тривалості $s(t)$. Відбитий від об'єкта сигнал моде-

люється як затримана та зашумлена версія випромінюваного сигналу $s'(t-\tau)+f(t)$. У часовій області кореляційну функцію $K(\tau)$ цих сигналів визначають так:

$$K(\tau) = \int_0^T s(t)(s'(t-\tau) + f(t))dt, \quad (3)$$

де τ – величина затримки прийнятого сигналу щодо опорного; T – вибраний час спостереження; $f(t)$ – функціональна залежність шуму.

При виборі величини затримки $b=\tau$ опорного сигналу $s(t-b)$ значення кореляції буде максимальним. Отримане при цьому b буде інформативним параметром оцінки віддалі щодо об'єкта зондування.

Дискретна функція кореляції апроксимуючих вейвлет-коефіцієнтів $K_a(m)$ на j -му рівні перетворення матиме вигляд:

$$K_a(m) = \sum_{n=0}^N c_{J,n-m} c'_{J,n-k}, \quad (4)$$

де $c_{J,n-m}$ і $c'_{J,n-k}$ – апроксимуючі коефіцієнти відповідно опорного та відбитого сигналів, отримані в результаті виконання останнього рівня перетворення J ; k – величина зміщення вейвлет-коефіцієнта відбитого сигналу; m – величина зміщення вейвлет-коефіцієнта опорного сигналу; N – межа інтервалу оброблення.

Дискретна функція кореляції деталізуючих вейвлет-коефіцієнтів $K_d(m)$ на j -му рівні перетворення матиме вигляд:

$$K_d(m) = \sum_{n=0}^N d_{j,n-m} d'_{j,n-k}, \quad (5)$$

де $d_{j,n-m}$, $d'_{j,n-k}$ – деталізуючі коефіцієнти опорного та відбитого сигналів, отримані на відповідних рівнях перетворення j .

Сумарне значення кореляції послідовностей вейвлет-коефіцієнтів розкладу зондуемого і відбитого сигналів $K_{\Sigma}(m)$ можна подати як

$$K_{\Sigma}(m) = \sum_{n=0}^N \left(c_{J,n-m} c'_{J,n-k} + \sum_{j=1}^{J-1} d_{j,n-m} d'_{j,n-k} \right) \quad (6)$$

На основі отриманого виразу (6) можна зробити висновок, що оцінка віддалі до об'єкта зондування залежатиме від величини зміщення m вейвлет-коефіцієнтів опорного сигналу щодо вейвлет-коефіцієнтів відбитого. Величина зміщення запам'ятовується такою, при якій сумарне значення кореляції вейвлет-коефіцієнтів буде максимальним (при $m=k$). Основною особливістю такого подання є те, що воно дає можливість ефективно фільтрувати шуми та безпосередньо оцінювати сигнали у часо-частотній області.

Моделювання процесу зондування об'єктів із вейвлет-перетворенням сигналів

Спрощена структурна схема моделювання, наведена на рис. 1, складається з трьох основних частин. Перша частина містить схему моделювання процесу оцінювання значень кореляції зондувального (опорного) $s(t)$ та відбитого $s'(t-\tau)$ вхідних сигналів, які піддаються попередньому дискретному вейвлет-перетворенню. Друга частина структурної схеми складається зі схеми комп'ютерного моделювання (за виразом (3)) процесу оцінювання значень кореляції згаданих сигналів класичним способом. Результати оцінювання значень такої схеми вважаються взірцевими і використовуються для порівняння.

Третя частина структури складається з пристроїв візуального спостереження та пристроїв порівняння отриманих результатів, на основі яких обчислюють похибки перетворення. До складу схеми комп'ютерної моделі процесу оброблення зондуемого та відбитого надширокосмугових сигналів на основі вейвлет-перетворення входять: пристрої генерування вхідних сигналів (відбитого та опорного), пристрої дискретизації вхідних сигналів, блоки вейвлет-перетворення

вхідних сигналів, пристрої перемноження та підсумовування коефіцієнтів на відповідних рівнях перетворення та пристрій остаточного підсумовування вейвлет-коефіцієнтів.

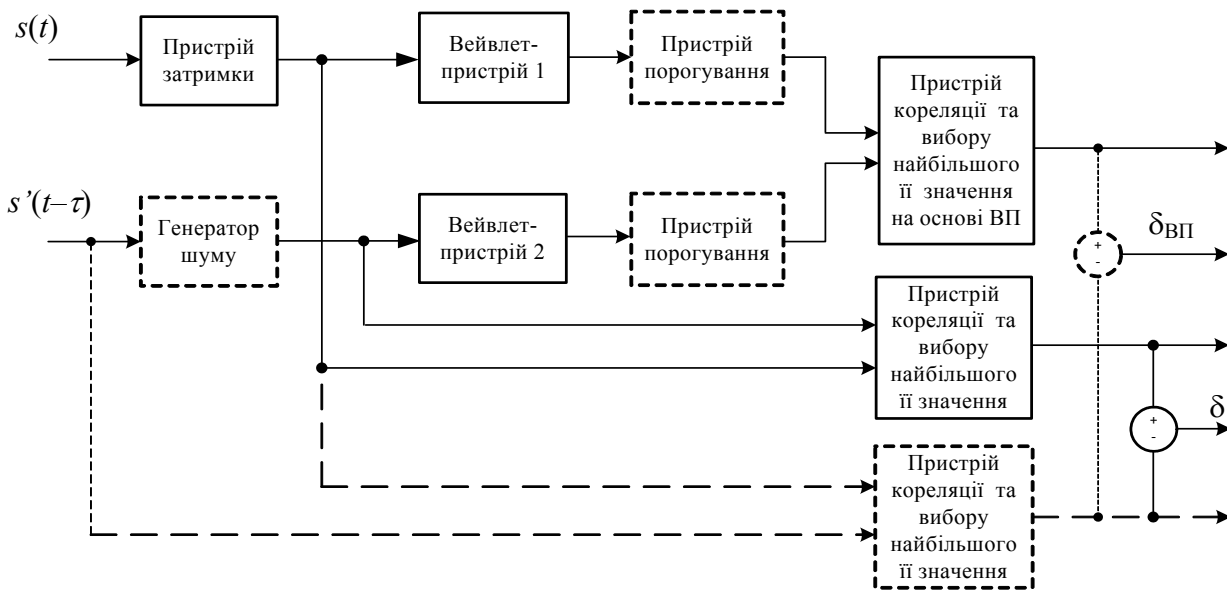


Рис. 1. Спрощена структурна схема комп'ютерного моделювання процесу оброблення зонduючого та відбитого надширокоосмугових сигналів

Випромінюваний та відбитий сигнали моделювалися у вейвлет-області з використанням базових вейвлет-функцій Добеші 6-го порядку та пірамідального алгоритму Маллата [7,9,10]. Розкладені на сім частотних піддіапазонів вхідні сигнали, наведені у вигляді вейвлет-коефіцієнтів (1) і (2), перемножуються і підсумовуються на відповідних рівнях упродовж інтервалу оброблення N . Остаточне підсумовування усіх значень кореляції вейвлет-коефіцієнтів відбувається в кінцевому суматорі.

Комп'ютерне моделювання запропонованого процесу оброблення зонduючого та відбитого надширокоосмугових сигналів ґрунтується на використанні виразу (6). Для цього випадку на наведеній вище структурній схемі моделювання (рис. 1) вводяться додаткові елементи схеми (позначені пунктиром). До них входять генератор шуму, пристрої порогоування, пристрій кореляції, 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 порогоування для зменшення впливу шумів виконується адаптивне порогоування отриманих вейвлет-коефіцієнтів опорного та відбитого сигналів, яке встановлюється на кожному рівні перетворення окремо.

Додаткова схема моделювання процесу оцінювання значень кореляції опорного та відбитого вхідних сигналів аналогічна до схеми моделювання, яка функціонує за класичним способом. 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 зонduючих сигналів.

Результати оцінювання похибок від процентного вмісту шуму у відбитому сигналі наведено на рис. 2. На імітований відбитий сигнал безпосередньо накладався білий шум із гауссівським розподілом, рівень якого змінювався від 10% до 50% від рівня максимальної амплітуди сигналу.

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

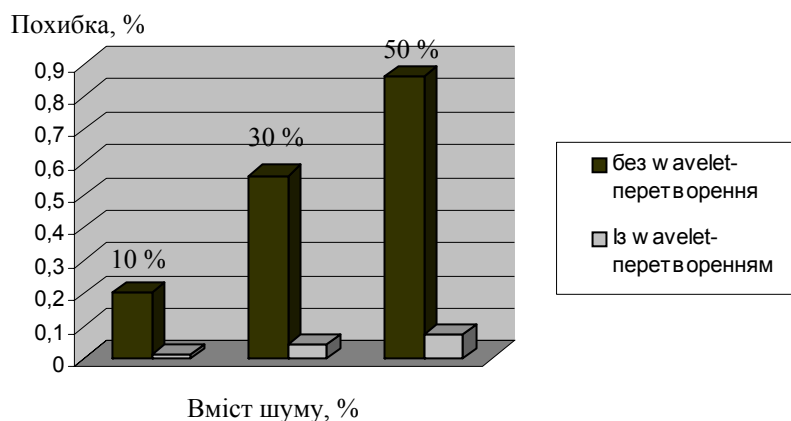


Рис. 2. Оцінювання похибок значень кореляції опорного та відбитого надширокопосмугових сигналів від процентного вмісту шуму у відбитому сигналі

Висновки

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

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

3. Результати моделювання показують, що оцінка динамічних та статичних характеристик об'єктів зондування на основі вейвлет-перетворення надширокопосмугових зондуючих сигналів має вищу завадостійкість і точність перетворення порівняно з існуючими методами оброблення.

1. Иммореев И.Я., Сверхширокополосные радары: новые возможности, необычные проблемы, системные особенности // Вестник МГТУ. – 1998. – № 4. – С. 25–56. 2. Наконечний А.Й., Тишик І.Я. Оцінка параметрів руху об'єктів на основі малохвильового перетворення сигналів // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2006. – №551. – С. 80–85. 3. Скосырев В.Н., Особенности и свойства сверхкороткоимпульсной локации. Конспекты лекций. – Муром. – 2003. – С. 67–91. 4. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. – М.: Мир, 1978. – С. 789. 5. Ширман Я.Д., Манжос В.Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. – М.: Радио и связь, 1981. – 212с. 6. Тихонов В. И. Оптимальный прием сигналов. – М.: Радио и связь, 1983. 7. Наконечний А.Й. Теорія малохвильового перетворення та її застосування. – Львів: “Фенікс”, 2001. – С. 93. 8. Федотов Д.В., Судаков А.А. Сигналы, используемые в СШП радиосистемах // Научные технологии. – 2005. 9. Воробьев В.И., Грибунин В.Г. Теория и практика вейвлет-преобразования // ВУС. – 1999. – С. 31. 10. Дьяконов В.П. Вейвлеты. От теории к практике. – М.: СОЛОН-Р. – 2002. – С. 113.