

ЗАСТОСУВАННЯ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ СИГНАЛІВ ЛОКАЦІЇ У ДОПЛЕРІВСЬКИХ ПРИСТРОЯХ ОХОРОННИХ СИСТЕМ

О Тишик І.Я., Совин Я.Р., 2008

Запропоновано здійснювати оброблення прийнятого радіоімпульсу локації методом вейвлет-перетворення з метою покращеного оцінювання статичних і динамічних характеристик рухомих об'єктів. Наведено та проаналізовано результати моделювання оброблення радіоімпульсу локації вейвлет-перетворенням та на основі методу віконного перетворення Фур'є.

The received RF pulse processing in based on technique wavelet transform is proposed with purpose the improvement of estimation accuracy for static and dynamic characteristic of motion objects. The results of design RF pulse processing are resulted and analyzis in based on technique wavelet transform and based on technique windowed Fourier transform.

Вступ. Доплерівські пристрої ближньої дії широко застосовуються у сучасних системах локації [1], таких, як системи контролю руху автотранспорту, системи дистанційного контролю за приземленням літальних апаратів, охоронні системи тощо. Завадостійкість є основною характеристикою таких пристроїв і залежить від величини співвідношення сигнал/шум на виході приймача [2]. Застосування доплерівських пристроїв виявлення рухомих об'єктів в охоронних системах локації має певні особливості, пов'язані з тим, що під час руху об'єкта у ближній контрольованій зоні простору ширина спектра відбитих сигналів завдяки ефекту Доплера істотно збільшується стосовно ширини спектра зондувальних [3]. Крім того, можлива наявність енергетичного спектра зовнішніх та внутрішніх завад в області частот корисного сигналу стає вагомою причиною погіршення імовірнісних характеристик виявлення руху об'єкта та зниження стійкості пристрою до хибних спрацювань. Мінімізувати вплив завад часто вдається підбиранням оптимальних значень зондувальних сигналів та використанням цифрової фільтрації [4]. Проте часто подолати вплив завад на корисний сигнал до прийнятного рівня не вдається, що призводить до погіршення згаданих характеристик.

Аналіз досліджень та публікацій. У доплерівських радіолокаторах ближньої дії, призначених для систем охоронної сигналізації [1], іноді використовуються методи імпульсної радіолокації, які ґрунтуються на застосуванні випромінюваних гармонійних сигналів з амплітудою $U_{\text{випр}}$, постійною частотою f_0 і заданою тривалістю t . Модуль спектра комплексної огибаючої послідовності таких сигналів $U_{\text{випр}}(t)$, які надходять зі шпаруватістю T/t , має вигляд

$$|S_k(k\Delta\omega)| = \left| \frac{U_{\text{випр}} t \sin(k\Delta\omega t / 2)}{T k\Delta\omega t / 2} \right| \quad (1)$$

де $\Delta\omega = 2\pi/T$, $k = 0, 1, 2, \dots$. Спектр послідовності сигналів, відбитих від рухомого зі змінною швидкістю об'єкта, істотно відрізнятиметься від (1) внаслідок появи додаткових частотних складових, викликаних ефектом Доплера. Наявність цих складових призводить до спотворення спектра усередині займаної смуги частот і розширення самого спектра сигналу відповідно [1]. Зміну форми спектра цих сигналів необхідно враховувати під час розроблення алгоритмів їхнього оброблення, особливо за наявності різних систематичних і випадкових завад [5]. Крім того, за частотним вмістом спектральних компонент (1) у прийнятому сигналі можна оцінити лише динамічні характеристики об'єкта локації. Для оцінювання статичних та динамічних характеристик

об'єктів супроводу у системах ближньої локації переважно використовують такі методи оброблення, як кореляційно-фільтрові [6], та на основі часо-частотного фільтра, робота якого ґрунтується на дискретному віконному перетворенні Фур'є [7]. Проте ефективність цих методів втрачається, якщо сигнали обробляються з високим вмістом завад при невідомій апріорній інформації про їхній вид та характер зміни.

Мета роботи. Мета роботи полягає у дослідженні можливості застосування методу вейвлет-перетворення у доплерівських пристроях охоронних систем для здійснення ними ефективної фільтрації і часової локалізації відбитих сигналів локації за достатньо низького відношення сигнал/шум, що має сприяти покращанню такими пристроями оцінки як динамічних, так і статичних характеристик об'єктів супроводу.

Частотно-часова локалізація вейвлет-аналізу. У роботі пропонується і досліджується можливість застосування у доплерівських пристроях охоронних систем методу вейвлет-перетворення для підвищення достовірності виявлення і часової локалізації відбитих сигналів локації на тлі значних шумів. Відомо, що роздільні здатності вейвлет-перетворень мають властивість залишатися постійними протягом багатьох октав зміни частоти вхідних сигналів (Q-постійність), а тому вони дають змогу здійснювати оцінку і порівняння характеристик сигналів у їхньому широкому діапазоні частот. Така властивість вейвлет-перетворення досягається за рахунок постійної зміни розміру вікна та фіксації кількості циклів в аналізуючому “ядрі” [8]. Згадана властивість не справджується у разі віконного перетворення Фур'є, яке має однакову ширину смуги навколо кожної центральної частоти. Поділена ширина смуги змінюється у міру зміни центральної частоти і вікно перетворення Фур'є не може виконувати Q-постійний аналіз протягом усієї ширини смуги частот вхідних сигналів [9]. Отже, 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 стає можливим поєднання ефективної фільтрації відбитого сигналу локації з його часовою локалізацією.

Реалізація методу вейвлет-перетворення для оброблення прийнятого сигналу локації.

Загалом одержаний сигнал $S(t)$ (1) подається у часовій області t як зашумлена версія $s(t)$:

$$s(t) = S(t) + z(t) \quad (2)$$

де $z(t)$ – білий гауссівський шум.

Реалізація методу вейвлет-перетворення здійснюється на основі операції розкладу сигналу на піддіапазони за допомогою одного з відомих алгоритмів [10], що забезпечує підсмугове кодування дискретних послідовностей цього сигналу. Згідно з теорією вейвлет-перетворення масштабні і вейвлет-функції розглядаються як функції фільтрів, які отримуються з умов кратномасштабного аналізу [11]. Розклад на вейвлет-складові послідовностей дискретних значень вхідного сигналу $s[k]$ відбувається за рахунок операції згортки його значень із фільтровими функціями:

$$d_{j,n} = \sum_k s[k] h_j [k - 2^j n] \quad (3)$$

$$c_{j,n} = \sum_k s[k] g_j [k - 2^j n] \quad (4)$$

де $h_j [k - 2^j n]$ та $g_j [k - 2^j n]$ – аналізуючі дискретні вейвлет та масштабна функції відповідно [9]; k – номер вибірки; $d_{j,n}$, $c_{j,n}$ – послідовності деталізуючих та апроксимуючих відповідно вейвлет-коефіцієнтів декомпозиції прийнятого сигналу, отриманих на різних рівнях перетворення j , ($j = 1, 2, 3, \dots, J$; $n = 1, 2, 3, \dots, 2^j$). Вважатимемо, що при $j = J$, $d_{j,n} = c_{j,n}$.

Отже, згідно з (2) прийнятий сигнал на j -му рівні перетворення буде поданий такою сукупністю вейвлет-коефіцієнтів $d_{j,n}^s$:

$$d_{j,n}^s = d_{j,n}^S + d_{j,n}^z \quad (5)$$

де $d_{j,n}^S$ – послідовність вейвлет-коефіцієнтів корисного сигналу; $d_{j,n}^z$ – послідовність вейвлет-коефіцієнтів шуму.

Концепція фільтрації на основі методу вейвлет-перетворення полягає у порогованні шумових величин деталізуючих вейвлет-коефіцієнтів, які переважно локалізуються на високочастотних підсмугах декомпозиції [11]. Задаючи деякий поріг для конкретного рівня декомпозиції і відкидаючи по ньому деталізуючі коефіцієнти, можна тією чи іншою мірою зменшувати рівень шуму у сигналі. Від вибору величини порогу залежить якість придушення шуму, яка оцінюється у вигляді величини відношення сигнал/шум. За малих значень порогу зберігаються вейвлет-складові шуму і тому величина відношення сигнал/шум може збільшитися незначно. При великих значеннях порогу можна втратити ті інформативні вейвлет-складові, які роблять вагомий внесок у сигнал, що може значно спотворити сигнал при його реконструкції у часовій області.

Для здійснення ефективної фільтрації $s(t)$ пропонується на кожному рівні декомпозиції встановити відповідну величину порогу λ_j , яка розраховується на підставі аналізу статистичних характеристик складових вхідного сигналу [12]. Значення величини порогу λ_j у цьому разі для кожного j обчислюється як:

$$I_j = s_j \sqrt{2 \lg N_j} \quad (6)$$

де N_j – кількість вейвлет-коефіцієнтів вхідної послідовності на j -му рівні декомпозиції, яка розраховується так:

$$N_j = \frac{N}{2^j} \quad (7)$$

де N – кількість вибірок вхідної послідовності; σ_j – розраховується як лінійне середнє значення послідовності вейвлет-коефіцієнтів $d_{j,n}^S$ згідно [12]:

$$s_j = \frac{\text{Median}(d_{j,n}^S)}{0,6745} \quad (8)$$

Отже, при зворотному вейвлет-перетворенні у реконструкції сигналу братимуть участь величини вейвлет-коефіцієнтів $d_{j,n}^S$, які визначаються з такої умови:

$$d_{j,n}^S = \begin{cases} d_{j,n}^S & \text{при } d_{j,n}^S \geq I_j \\ 0 & \text{при } d_{j,n}^S < I_j \end{cases} \quad (9)$$

На основі отриманих виразів (6) і (8) можна зробити висновок, що величини λ_j набувають найбільших значень на тих смугах розкладу j , на яких очікується найвищий усереднений рівень величин вейвлет-складових шуму. Оскільки рівень шумових вейлет-складових на кожній наступній смузі перетворення нижчої частоти, як правило, зменшується щодо рівня складових корисного сигналу, то з використанням згаданих виразів та умови (9) одержимо покращані характеристики відношення сигнал/шум на кожній з цих смуг. Основною особливістю такого подання є те, що воно дає змогу ефективно фільтрувати шуми прийнятого сигналу, вносячи порівняно невелике спотворення при його реконструкції у часовій області (рис. 1, в), що, своєю чергою, приводить до зменшення похибки оцінювання віддалі до об'єкта спостереження.

Моделювання оброблення прийнятого сигналу локації. Моделювання оброблення прийнятого сигналу локації здійснювалося з використанням прикладного пакета MATLAB 6.0. Прийнятий (імітований) сигнал подавався як нормований радіоімпульс $S(t)$ з прямокутною огинаючою деякої тривалості (рис. 1, а, рис. 2, а). На цей сигнал безпосередньо накладався білий шум з гауссівським розподілом (сигнал/шум = -18 dB) (рис. 1, б, рис. 2, б). Результат моделювання оброблення прийнятого сигналу локації $s(t)$ методом вейвлет-перетворення наведено на рис. 1, в. Для порівняння такого методу оброблення було здійснено оброблення цього самого сигналу у часо-частотній області на основі використання віконного перетворення Фур'є (рис. 2). Результат моделювання на основі такого перетворення поданий на рис. 2, в.

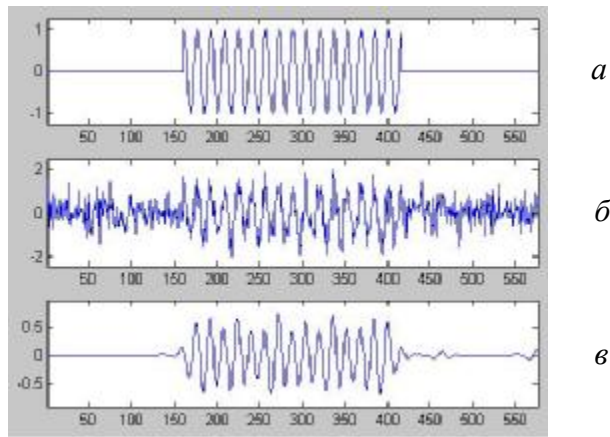


Рис.1. Результат моделювання оброблення прийнятого сигналу локації методом вейвлет-перетворення (а – зразковий сигнал $S(t)$; б – імітований відбитий сигнал $s(t)$, спотворений білим гауссівським шумом; в – реконструйований сигнал)

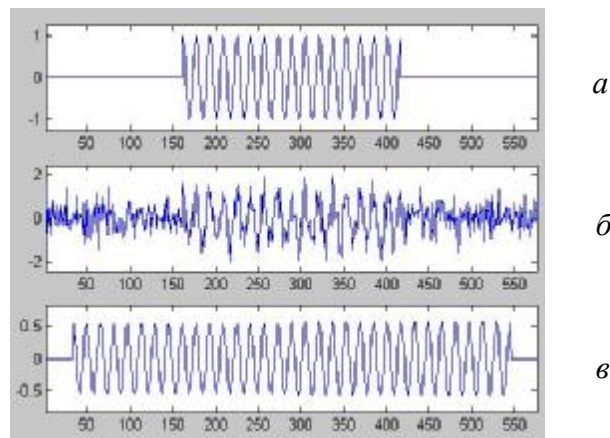


Рис.2. Результат моделювання оброблення прийнятого сигналу локації методом віконного перетворення Фур'є (а – зразковий сигнал $S(t)$; б – імітований відбитий сигнал $s(t)$, спотворений білим гауссівським шумом; в – реконструйований сигнал)

Оброблення прийнятого сигналу $s(t)$ у вейвлет-області здійснювалося з використанням базових вейвлет-функцій Добеші 6-го порядку та пірамідального алгоритму Маллата [9,10,11]. Кількість частотних піддіапазонів розкладу j вхідного сигналу (для $N = 4096$) становила 12. Оброблення вхідної послідовності сигналу $s[k]$ вейвлет-перетворенням відбувалося у два етапи: на першому етапі здійснювався розклад на частотні піддіапазони складових вхідного сигналу, які представлялися величинами вейвлет-коефіцієнтів (3), (4), а також розраховувалися для кожного піддіапазону, згідно з (8) і (6), σ_j і λ_j ; на другому – оцінювалися значення вейвлет-коефіцієнтів на відповідних смугах розкладу згідно з (9) упродовж усього інтервалу оброблення. Остаточні коефіцієнти лежали в основі реконструкції сигналу у часовій області.

Результати виконаного моделювання показують, що оброблення прийнятих сигналів локації методом вейвлет-перетворення одночасно забезпечує їхню ефективну фільтрацію від завад і локалізацію у часовій області, оскільки ширина віконної вейвлет-функції (на відміну від віконної функції при перетворенні Фур'є) здатна адаптивно змінюватися стосовно особливостей прийнятого сигналу. Таке подання забезпечує однакову ефективність оцінювання доплерівськими пристроями охоронних систем динамічних і статичних характеристик рухомих об'єктів за апіорі невідомої тривалості відбитого сигналу.

Висновки

1. Показано, що для підвищення достовірності виявлення і часової локалізації відбитих радіоімпульсних сигналів локації у доплерівських пристроях охоронних систем доцільно використовувати моделі, які ґрунтуються на вейвлет-перетворенні. Такі подання дають змогу отримати постійну роздільну здатність для цих сигналів у широкому діапазоні частот.

2. Результати моделювання показують, що оброблення прийнятого радіоімпульсного сигналу локації методом вейвлет-перетворення та на основі методу віконного перетворення Фур'є забезпечує якісну його фільтрацію від завад, однак перетворення Фур'є не забезпечує достатньо точної локалізації такого сигналу у часовій області, що унеможливило якісне оцінювання статичних характеристик рухомих об'єктів доплерівськими пристроями охоронних систем. Локалізацію таких сигналів у часовій області забезпечує вейвлет-перетворення, оскільки ширина віконної аналізуючої вейвлет-функції здатна адаптивно змінюватись щодо локальних особливостей прийнятого сигналу. Таке подання забезпечує однакоvu ефективність оцінювання доплерівськими пристроями охоронних систем динамічних і статичних характеристик рухомих об'єктів за ап'іорі невідомої тривалості прийнятого сигналу локації.

1. Шелухин О.И. Радиосистемы ближнего действия. – М.: Радио и связь, 1989. 2. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: Радио и связь, 1989. 3. Левчук С.А., Макаров С.Б., Петров А.Ю. Доплеровские радиоволновые обнаружители объектов для систем охраных сигнализаций // Проблемы информационной безопасности, № 1, 2000. 4. Тихонов В.И. Оптимальный прием сигналов. – М.: Радио и связь, 1983. 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. Sobhy M., Moustafa K. and Makkey M. Real-time processing of noisy RF pulses. Proceeding of the 32nd European Microwave Conference, London, UK, September 2001. 8. Akansu, A.N. and R.A. Haddad, Multiresolution Signal Decomposition: Transforms, subbands, and wavelet, Academic Press, New York, 1992. 9. Наконечний А.Й. Теорія малохвильового перетворення та її застосування. – Львів: Фенікс, 2001. – С. 93. 10. Воробйов В.И., Грибунин В.Г. Теория и практика вейвлет-преобразования. – ВУС, 1999. – С. 31. 11. Дьяконов В.П. Вейвлеты. От теории к практике. СОЛОН-Р. – Москва, 2002. – С. 113. 12. O.A.M. Aly and A.S. Omar. Detection and localization of RF-radar pulses in noise environments using wavelet packet transform and higher order statistics // Progress In Electromagnetics Research, PIER 58,301–317, 2006.