

ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ РАДІОХВИЛЬОВИХ ОХОРОННИХ СИСТЕМ СИГНАЛІЗАЦІЇ

© І.Я. Тишик, Я.Р. Совин 2011

Для підвищення завадостійкості радіохвильових охоронних систем сигналізації запропоновано використати як зондувальні нестационарні широкосмугові сигнали неперервного типу з подальшим опрацюванням зондувального та відбитого таких сигналів у часо-частотній (вейвлет) області. Приведено та проаналізовано результати моделювання процесу опрацювання згаданих сигналів вейвлет-перетворенням.

For the increase of firmness to the hindrances of the radio wave protective systems of signaling it is suggested to use as soundings non-stationary wideband signals of continuous type with the further working sounding and removed such signals in a time-frequency (wavelet) area. The results of design mentioned signals processing are resulted and analysis in based on technique wavelet transform.

Вступ

Застосування доплерівських радіохвильових пристроїв у системах охоронних сигналізацій має певні особливості, пов'язані з тим, що при наближенні об'єкта у контрольованій зоні простору в напрямку приймача, ширина спектру відбитих сигналів із-за наявності ефекту Доплера збільшується щодо ширини спектру випроміненого сигналу. При цьому, робота таких пристроїв відбувається, як правило, в умовах впливу зовнішніх та внутрішніх завад, енергетичний спектр яких переважно є лінійним, вузькосмуговим і розташованим в області частот корисних сигналів [1]. Це приводить до зниження стійкості радіохвильових систем охоронної сигналізації до хибних спрацювань. Підвищення у деякій мірі їх стійкості до хибних спрацювань відомими методами відбувається, як правило, за рахунок зниження достовірності виявлення рухомих об'єктів у контрольованій зоні простору [2]. В таких радіохвильових пристроях систем охорони, при виборі відповідного зондувального сигналу, шукають компроміс між цими параметрами. Проте, якісні характеристики згаданих систем, одержані у результаті вибраного компромісу, часто не задовольняють споживача.

Аналіз досліджень та публікацій

Перевагою доплерівських радіохвильових вузькосмугових систем є забезпечення ними високої селективності відбитих сигналів. У той же час, мала кількість ознак корисного сигналу, за якими може здійснюватися селекція відбитого сигналу на тлі завад, приводить до погіршення імовірнісних характеристик виявлення рухомого об'єкта, а наявність в області селекції завад, крім того, значно знижує стійкість таких систем до хибних спрацювань. Покращити завадостійкість згаданих систем у деякій мірі можна підвищенням їх фільтровими системами нижньої межі селекції доплерівських частот, однак, це може привести до перевищення допустимої межі реєстрації мінімальної швидкості руху об'єктів [2]. Знаходження компромісу між вказаними параметрами, при

виборі відповідного типу зондувального сигналу, є важливою проблемою таких вузькосмугових радіохвильових пристроїв систем охорони. На даний час, при використанні радіохвильовими пристроями як зондувальні гармонійних сигналів неперервного типу, їх діапазон реєстрації швидкостей руху об'єктів знаходиться у межах $0,1 \div 1$ м/с, що є неприйнятним для багатьох застосувань [3].

Сучасні радіохвильові пристрої систем охорони для виявлення руху об'єктів широко використовують як зондувальні широкосмугові сигнали, оскільки такі сигнали дозволяють отримати необхідну роздільну здатність щодо віддалі, забезпечити вищу завадостійкість та достовірність виявлення стосовно вузькосмугових сигналів локації [4]. Такі широкосмугові системи охорони в основному використовують наступні типи широкосмугових зондувальних сигналів: короткотривалі радіо- та відеоімпульси; нестационарні сигнали неперервного типу великої тривалості [5].

Широкасмугові короткотривалі імпульсні сигнали локації дозволяють істотно підвищити роздільну здатність і точність вимірювання відстані до об'єкта спостереження, зменшити "мертву зону" системи, підвищити її стійкість до впливу усіх видів пасивних завад і спростити спостереження за переміщенням об'єкта на тлі потужних відбивань від нерухомих об'єктів. Однак їх використання як зондувальні у пристроях охоронних систем має свої недоліки, які пов'язані з малою енергетикою таких сигналів, труднощами їх генерації, випромінення та опрацювання [4, 6].

Перевагою зондувальних широкосмугових нестационарних сигналів неперервного типу щодо короткотривалих імпульсних сигналів є відносна простота їх генерації та випромінення, а також можливість одержання ними необхідної енергетики [6]. Для виділення інформативного параметру таких відбитих сигналів переважно використовують кореляційно-фільтрові методи їх опрацювання та опрацювання на основі часо-частотного фільтра, робота якого ґрунтується на дискретному віконному перетворенні Фур'є [6, 7]. Проте, ефективність цих методів втрачається при недотриманні високих вимог щодо лінійної девіації частоти згаданих випромінених сигналів та неможливості здійснення на основі поданих методів якісної і достовірної оцінки відбитих таких сигналів у межах їх широкого частотного діапазону [4,6], що приводить до погіршення достовірності виявлення рухомих об'єктів відповідними радіохвильовими системами.

Мета роботи

Мета роботи полягає у дослідженні можливості використання вейвлет-перетворення для опрацювання зондованих широкосмугових нестационарних сигналів радіохвильових охоронних систем сигналізації, що повинно привести до покращення стійкості таких систем до хибних спрацювань при одночасному забезпеченні ними високої достовірності виявлення рухомих об'єктів.

Частотно-часова локалізація вейвлет-аналізу.

Відомо, що вейвлет-перетворення особливо вигідно використовувати у тих випадках, коли результат аналізу деякого сигналу повинен містити не лише просте перелічення його характерних частот, але і відомості про визначені локальні координати, при яких ці частоти себе проявляють. Вейвлет-перетворення виявляється дуже зручним інструментом для адекватного представлення сигналів з локалізованими частотами, оскільки елементи його базису добре локалізовані і володіють рухомим часо-частотним вікном [8]. За рахунок постійної зміни розміру вікна вейвлет-перетворення здатне забезпечити пропорційну роздільну здатність у кожній частотній смузі, що дозволяє створювати вікна з постійними фрактальними роздільними здатностями ширини смуг, за рахунок чого стає можливим аналіз та порівняння широкосмугових сигналів [8,9]. Таким чином,

аналіз і опрацювання широкосмугових нестационарних у часі сигналів є основним полем застосування вейвлет-перетворення. В умовах нестационарності сигналів і наявності в них вимушеного шумового тла вейвлет-функції є найбільш придатним базисом для розв'язання завдання ефективної фільтрації таких сигналів у поєднанні з доброю часовою локалізацією їх особливостей [9]. З огляду на сказане, у роботі пропонується здійснювати опрацювання зондованих широкосмугових нестационарних сигналів радіохвильових охоронних систем сигналізації вейвлет-перетворенням, що повинно привести до підвищення завадостійкості таких систем та достовірності виявлення ними рухомих об'єктів на тлі завад.

Застосування вейвлет-перетворення для опрацювання зондованих широкосмугових сигналів локації

У даному випадку, випромінений (еталонний) сигнал $s(t)$ подається як складний сигнал, несуча частота якого складається з двох синусоїд різних частот, причому переналаштування з однієї частоти несучої на іншу відбувається скачкоподібно. Математична модель такого сигналу має вигляд:

$$s(t) = \begin{cases} S_0 \cos(\omega t + \varphi) & \text{при } t \leq t_e \\ S_0 \cos(k\omega t + \varphi) & \text{при } t > t_e \end{cases}, \quad (1)$$

де S_0 – значення амплітуди випроміненого сигналу; ω і φ – частота його несучої та початкова фаза відповідно; t_e – область скачкоподібної зміни частоти несучої сигналу; k – масштабний коефіцієнт частоти.

Відбитий від рухомого об'єкта сигнал моделюється як затримана та зашумлена версія випроміненого сигналу $s'(t)$. Розглядається випадок, коли об'єкт, що відбиває сигнал, наближується до спостерігача фронтально, тому область скачкоподібної зміни частоти несучої кожного наступного відбитого сигналу зміщуватиметься у часі відносно області скачкоподібної зміни частоти несучої своєї попередньої версії на величину, пропорційну відстані, пройденій об'єктом локації за певний проміжок часу (рис. 1а, б).

Реалізація методу вейвлет-перетворення здійснюється на основі операції розкладу відбитого сигналу на піддіапазони за допомогою одного з відомих алгоритмів [9], що забезпечує підсмугове кодування дискретних послідовностей цього сигналу. Згідно теорії вейвлет-перетворення масштабні і вейвлет-функції розглядаються як функції фільтрів, які одержуються з умов кратномасштабного аналізу [8, 10]. Розклад на вейвлет-складові послідовностей дискретних значень прийнятого сигналу $s'[k]$ відбувається за рахунок операції згортки його значень із фільтровими функціями:

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

$$c_{J,n} = \sum_k s'[k] g_J[k - 2^J n] \quad (3)$$

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

Таким чином, згідно з (2) і (3) прийнятий сигнал на j -тому рівні перетворення буде представлений відповідною сукупністю вейвлет-коефіцієнтів [8].

Концепція фільтрації на основі методу вейвлет-перетворення полягає у порогованні шумових величин деталізуючих вейвлет-коефіцієнтів, які в основному локалізуються на високочастотних

підсмугах декомпозиції [8]. Задаючи деякий поріг для конкретного рівня декомпозиції і відкидаючи по ньому деталізуючі коефіцієнти, можна у тій чи іншій мірі зменшувати рівень шуму в прийнятому сигналі.

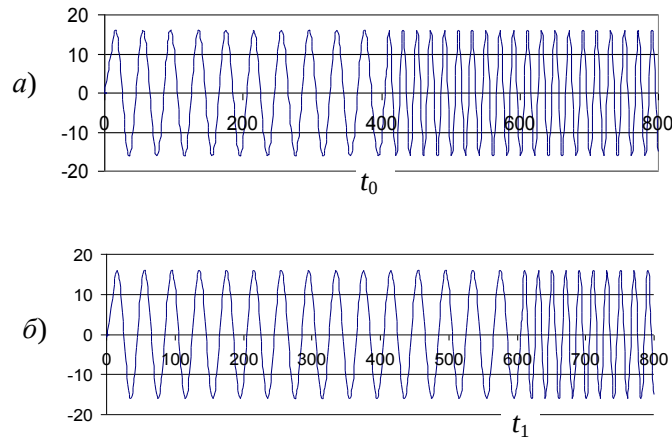


Рис. 1. Часова область подання відбитих широкосмугових сигналів:
а) – у певний момент просторового положення об'єкта локації;
б) – у наступний момент просторового положення об'єкта локації.

Для здійснення ефективної фільтрації $s(t)$ пропонується на кожному рівні декомпозиції встановити відповідну величину порогу λ_j . Фіксування величини цього порогу являє собою мінімаксну оцінку, для якої реалізується мінімум середньоквадратичної похибки відтворення сигналу з використанням отриманого вектора коефіцієнтів вейвлет-перетворення [12]. Згідно такої статистичної оцінки для вектора вейвлет коефіцієнтів довжиною $N_j \leq 32$ величина порогу $\lambda_j = 0$; в інших випадках для відповідного j :

$$\lambda_j = 0,3936 + 0,1829(\log(N_j)/\log(2)) \quad (4)$$

Інформативними будуть величини тих вейвлет-коефіцієнтів $d_{j,n}^s$, які визначаються з наступної умови:

$$d_{j,n}^s = \begin{cases} d_{j,n}^s & \text{при } d_{j,n}^{s'} > \lambda_j \\ 0 & \text{при } d_{j,n}^{s'} \leq \lambda_j \end{cases} \quad (5)$$

Результуюче значення вейвлет-складових відбитого сигналу подається як:

$$d_n^s = \sum_{j=1, z=\frac{(N-1)}{2^j}(J-j)}^J d_{j,n-z}^s \quad (6)$$

де z – параметр, який нівелює різницю часового зміщення між вейвлет-складовими щодо кожної підсмуги декомпозиції.

Основною особливістю такого подання є те, що воно дає можливість ефективно фільтрувати шуми прийнятого сигналу та здійснювати часову локалізацію сукупності вагомих його вейвлет-складових, що значно покращує відношення сигнал/шум на виході такої фільтрової системи і дозволяє оцінювати віддаль до об'єкта спостереження безпосередньо у часо-частотній області.

Результати моделювання процесу оброблення прийнятого сигналу локації

Моделювання процесу опрацювання прийнятих сигналів локації проводилося з використанням прикладного пакету MATLAB 6.0. Прийняті (імітовані) сигнали являли собою

широкосмугові нестационарні сигнали зі скачкоподібною зміною частоти несучої (рис.1а, б). На рис. 1 а показано відбитий у деякий момент часу такий сигнал від об'єкта, який знаходився в певному місці контрольованої території. Область скачкоподібною зміни частоти несучої цього сигналу відповідатиме деякому часовому моменту t_0 . На рис. 1 б показано наступний відбитий від об'єкта локації такий сигнал в інший момент часу, протягом якого відбулася зміна місця положення цього об'єкта. Область скачкоподібною зміни частоти несучої цього сигналу відповідатиме часовому моменту t_1 . На відбиті сигнали, крім того, накладався гаусовий шум, значення якого становило 30% рівня сигналу. Згідно теорії радіолокації, величина зміщення області скачкоподібною зміни частоти відбитого сигналу відносно деякої опори, пропорційно залежатиме від величини переміщення об'єкта локації у контрольованій зоні.

З теорії вейвлет-перетворення відомо [8-11], що результат вейвлет-аналізу деякого сигналу містить не лише простий перелік його характерних частот (масштабів), однак і відомості про певні локальні координати, при яких ці частоти себе проявляють. Таким чином, вейвлет-коефіцієнти декомпозиції вищезгаданих сигналів локації можуть надавати інформацію про розташування у часі певних особливостей цих сигналів. Такими особливостями, у даному випадку, є область скачкоподібною зміни частоти цих сигналів.

На рис. 2а, б показано результат опрацювання згаданих сигналів вейвлет-перетворенням. Сукупність вейвлет-коефіцієнтів декомпозиції сигналу, поданого на рис. 1а, представлено на рис 2а. Згідно наведеної теорії, сумарне значення вагомих вейвлет-коефіцієнтів d_n^s , у цьому випадку, згруповане в точці n_0 , яка відповідає часовій області t_0 скачкоподібною зміни частоти відбитого сигналу. Аналогічно, сукупність вейвлет-коефіцієнтів декомпозиції наступного відбитого сигналу, поданого на рис. 1б, представлено на рис 2б. Сумарне значення d_n^s , у цьому випадку, згруповане в точці n_1 , яка відповідає часовій області t_1 скачкоподібною зміни частоти відбитого сигналу.

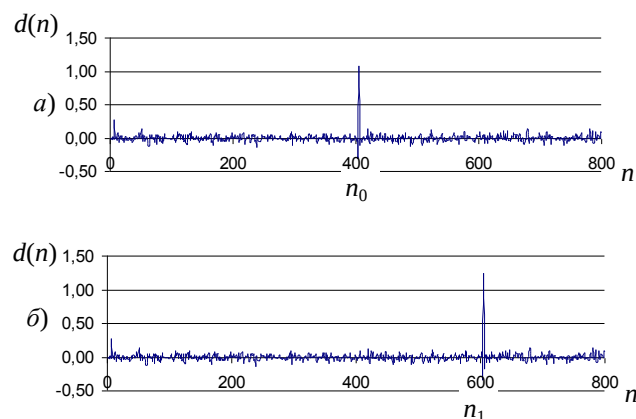


Рис. 2. Величини результуючих вейвлет-складових декомпозиції широкосмугових сигналів локації:
 а) – вейвлет-складові декомпозиції широкосмугового сигналу, поданого на рис. 1а;
 б) – вейвлет-складові декомпозиції широкосмугового сигналу, поданого на рис. 1б.

З рис. 2а, б очевидно, що співвідношення сигнал/шум (відношення інформативних складових декомпонованих сигналів до залишкових шумових складових) досить значне, що дає змогу чітко ідентифікувати зміну місця положення об'єкта локації у контрольованій зоні простору за різницею часовими значеннями вагомих вейвлет-коефіцієнтів відбитих сигналів, без реалізації зворотного вейвлет-перетворення.

Опрацювання прийнятих сигналів у вейвлет-області здійснювалося з використанням базових вейвлет-функцій Добеші 4-го порядку та пірамідального алгоритму Маллата [8-11]. Кількість частотних піддіапазонів розкладу j вхідного сигналу (для $N = 1024$) становило 10. Опрацювання

вхідних послідовностей $s[k]$ вейвлет-перетворенням відбувалося у два етапи: на першому етапі здійснювався розклад на частотні піддіапазони складових вхідного сигналу, які представлялися величинами вейвлет-коефіцієнтів (2, 3). Згідно (4) розраховувались для цих піддіапазонів величини λ_j ; на другому – оцінювались величини вейвлет-коефіцієнтів на відповідних смугах розкладу згідно (5) упродовж усього інтервалу опрацювання та підсумовувались остаточні вейвлет-коефіцієнти згідно (6) з врахуванням їх різницевих часових зміщень щодо кожної підсмуги декомпозиції.

Результати проведеного моделювання показують, що опрацювання запропонованих нестационарних широкосмугових сигналів локації вейвлет-перетворенням дозволяє поєднати ефективну їх фільтрацію від шумів та часову локалізацію інформативних складових, які представляють область зміни частот цих сигналів і слугують тими інформативними параметрами, за якими робиться висновок щодо переміщення об'єктів локації.

Перевагою такого подання є те, що надається можливість оцінювати віддаль до рухомого об'єкта спостереження у кожен наступний момент часу, що дозволяє з високою достовірністю виявити його переміщення на тлі нерухомих об'єктів та забезпечити високу стійкість відповідної системи локації до хибних спрацювань.

Висновки

1. Показано, що для опрацювання зондованих нестационарних широкосмугових сигналів згаданого типу радіохвильовими пристроями охоронних систем сигналізації доцільно використовувати моделі, які базуються на вейвлет-перетворенні. Такі подання надають змогу розв'язати завдання ефективною фільтрації цих сигналів у поєднанні з доброю часовою локалізацією їх особливостей, які представляють область зміни їх частот і слугують тими інформативними параметрами, за якими робиться висновок щодо переміщення об'єктів локації безпосередньо у часо-частотній області.

2. Результати проведеного моделювання показують доцільність використання техніки вейвлет-перетворення для опрацювання згаданих широкосмугових сигналів локації, що дозволяє покращити інформативність відповідних радіохвильових систем охоронних сигналізацій та підвищити їх стійкість до хибних спрацювань.

1. Левчук С.А., Макаров С.Б., Петров А.Ю. Доплеровские радиоволновые обнаружители объектов для систем охранных сигнализаций. / Проблемы информационной безопасности, №1, 2000 г. 2. Волков А. Ультразвуковой датчик охранной сигнализации. – Радио -1996, №5 с 54-56. 3. <http://kazus.ru/shemes/showpage/0/634/1.html>. Доплеровский радиолокационный датчик движущихся объектов DMS-4. 4. Иммореев И.Я., Сверхширокополосные радары: новые возможности, необычные проблемы, системные особенности // Вестник МГТУ, №4, 1998, - стр.: 25-56. 5. А.А. Судаков, Сигналы используемые в СШП радиосистемах // Научные технологии, Апрель 2005. 6. Spread spectrum communication handbook, Martin K. Simon. New York: McGraw n Hill, 1994 с. 7-9. 7. О.А.М.Аly and А.С.Оmar, "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. 8. А.И.Наконечный. Теория малохвильового перетворення та її застосування. Львів "Фенікс", 2001. с.93. 10. Дьяконов В.П. Вейвлеты. От теории к практике. СОЛОН-Р. Москва 2002. с.113. 11. Воробьев В.И., Грибунин В.Г. Теория и практика вейвлет-преобразования. ВУС, 1999. с.31. 12. Гукавий В. Обработка спектру Вігнера з використанням вейвлет перетворення. (тези) Матеріали II Міжнародної науково-технічної конференції. СПМРТП-2006 25-28 вересня с.148.