

## ШИРОКОСМУГОВЕ ОПРАЦЮВАННЯ СИГНАЛІВ СИСТЕМ ОХОРОНИ

© Тишик І. Я., 2014

Розроблено нові ефективні підходи щодо опрацювання відбитих сигналів систем охорони для забезпечення ними високої завадостійкості та достовірності виявлення рухомих об'єктів. Досліджено процес перетворення широкосмугових сигналів охоронних систем безпосередньо у часо-частотній (wavelet) області для різних базисних функцій, глибин декомпозиції та рівнів шумів, що дало змогу розробити рекомендації для вибору найефективнішого варіанта опрацювання таких сигналів.

**Ключові слова:** широкосмуговий сигнал, системи охорони, базисна вейвлет-функція, часо-частотна область, глибина декомпозиції.

## WIDEBAND SIGNALS PROCESSING OF GUARD SYSTEMS

© Tyshyk I., 2014

This article is aimed at design and development of the new optimal approaches to analyze and process the reflected signals of guard systems to provide for detection of object's motion at a high level of reliability and noise robustness. The process wideband signals of guard systems transformation directly in the time-frequency (wavelet) domain has been investigated for various basis functions, decomposition depths, and noise levels, which resulted in the definition of recommendations and principles for selection of the most efficient methods for processing of such signals.

**Key words:** wideband signals, guard systems, basis wavelet function, time-frequency domain, decomposition depths.

### Вступ

У теорії зв'язку, навігації, радіо- і гідролокації, в системах охоронної сигналізації та при вирішенні багатьох інших завдань необхідно отримувати і використовувати оцінки частотно-часових параметрів прийнятих сигналів і, отже, вимірювати їх частоту, період або фазове зміщення. При цьому точність і завадостійкість роботи всієї системи залежить від ефективності використовуваних алгоритмів під час обробки прийнятих сигналів, мінімізації похибок оцінок частотно-часових параметрів. Теоретично потенційно найкращими є оцінки, отримані на основі методу максимуму функції правдоподібності, але його реалізація значно ускладнює структуру кореляційних і багатоканальних пристроїв [1–3]. Тому на практиці поширені пристрої, які використовують спрощені алгоритми роботи, підвищення ефективності яких і є основним предметом дослідження [4,5]. Найчастіше частотно-часові параметри сигналів на практиці оцінюють цифровими пристроями, які фільтрують досліджуваний сигнал і формують інтегральну оцінку результату усереднення. Підвищення точності та завадостійкості таких пристроїв за різних умов роботи є важливим завданням подальших досліджень.

Відомо, що використання широкосмугових моделей сигналів для локаційних систем має низку переваг порівняно з вузькосмуговими моделями (виявлення рухомих малогабаритних об'єктів на тлі стаціонарного великогабаритного об'єкта, підвищення достовірності виявлення рухомих

об'єктів, розпізнавання великогабаритних об'єктів, забезпечення кращої роздільної здатності близько розташованих об'єктів, підвищення точності оцінки віддалі до об'єкта локації тощо). Ефективність ширококутового опрацювання в них значною мірою залежить від області подання випромінюваного і прийнятого сигналів. Через те, що оцінка якості вимірювань в таких випадках суттєво залежить від роздільної здатності аналізованих сигналів, а також від завадостійкості вибраного перетворення, то найвигіднішим і інформативним в цьому випадку є використання часо-частотної форми подання згаданих сигналів з подальшим їх опрацюванням у цій області [6].

### **Аналіз досліджень та публікацій**

Застосування радіохвильовими детекторами руху вузькосмугових моделей сигналів у системах охоронної сигналізації має певні особливості, пов'язані з тим, що при наближенні об'єкта у контрольованій зоні простору в напрямку приймача ширина спектра відбитих сигналів через наявність ефекту Доплера збільшується щодо ширини спектра випроміненого сигналу. При цьому працюють такі пристрої, як правило, в умовах впливу зовнішніх та внутрішніх завад, енергетичний спектр яких переважно є лінійним, вузькосмуговим і розташованим в області частот корисних сигналів [7, 9]. Це знижує стійкість радіохвильових систем охоронної сигналізації до хибних спрацювань. Деякою мірою їх стійкість до хибних спрацювань відомими методами підвищується, як правило, внаслідок зниження достовірності виявлення рухомих об'єктів у контрольованій ділянці простору. В таких радіохвильових пристроях систем охорони під час вибору відповідного зондувального сигналу шукають компроміс між цими параметрами.

Ширококутові короткотривалі імпульсні сигнали зондування дають змогу 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. Для виділення інформативного параметра таких відбитих сигналів переважно використовують кореляційні, кореляційно-фільтрові методи їх опрацювання [7, 8]. Проте ефективність цих методів втрачається за недотримання 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, що погіршує достовірність виявлення рухомих об'єктів відповідними пристроями систем охорони.

Перспективною технікою для опрацювання сигналів з перепадами рівня є вейвлет-перетворення. У працях [6–10, 12] показано, що саме вейвлет-фільтрація є оптимальною для сигналів з апріорі невідомою формою. Для опрацювання сигналів, які мають стрибки свого середнього значення (наприклад, прямокутні імпульси) у праці [11] запропоновано метод з адаптивним порогом, який дає змогу частково зберегти різкий фронт імпульсу, що значно зменшує похибку його часової локалізації. У праці [13] запропоновано альтернативний метод для підвищення точності дистанційного вимірювання віддалі до об'єкта зондування, який ґрунтується на визначенні локальних часових координат сукупності вейвлет-коефіцієнтів відбитого сигналу, одержаних на виході відповідних фільтрових систем.

Відомо, що вейвлет-перетворення є дуже зручним інструментом для адекватного представлення сигналів з локалізованими частотами, оскільки елементи його базису добре локалізовані і володіють рухомим часо-частотним вікном. 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 сигналів з перепадами рівня. Отже, аналіз і опрацювання короткотривалих (ширококутових) сигналів систем охорони з метою підвищення їх завадостійкості та достовірності виявлення ними рухомих об'єктів є основним полем застосування вейвлет-перетворення.

### **Постановка завдання**

З метою підвищення завадостійкості охоронних систем сигналізації та покращення ними достовірності виявлення рухомих об'єктів постає завдання розроблення нових ефективних підходів

щодо опрацювання широкосмугових ехо-сигналів, дослідження процесу їх перетворення безпосередньо у часо-частотній (wavelet) області для різних базисних функцій, глибин декомпозиції та рівнів шумів, що допоможе розробити рекомендації для вибору наефективнішого варіанта опрацювання таких сигналів.

### Широкосмугове опрацювання сигналів систем охорони

Оскільки теорія вейвлет-перетворення дає змогу ефективно здійснювати широкосмугове опрацювання, то саме на її основі доцільно аналізувати широкосмугові сигнали зондування та системи, що їх формують.

При вейвлет-перетворенні випромінюваний сигнал подається як широкосмуговий, функціональна залежність якого розкладається на множину елементарних складових. Такі складові знаходяться кореляцією між вхідними сигналами і деякими базовими функціями, які відрізняються від початкового свого прототипу шляхом їх зміщення та масштабування. Декомпозиція випроміненого сигналу для цієї базисної вейвлет-функції  $g(x)$  визначається так [10, 11].

$$(W_g s)(a, b) = \langle s, g_{a,b} \rangle = |a|^{-\frac{1}{2}} \int s(t) g^* \left( \frac{t-b}{a} \right) dt, \quad (1)$$

де  $s(t)$  – випромінюваний сигнал;  $a$  – часовий масштаб;  $b$  – часова затримка або зміщення.

Відповідно вейвлет-розклад прийнятого сигналу запишеться

$$(W_g s')(a, b) = \langle s', g_{a,b} \rangle = |a|^{-\frac{1}{2}} \int s'(t) g^* \left( \frac{t-b}{a} \right) dt, \quad (2)$$

де  $s'(t)$  – прийнятий сигнал.

Тобто одержані множини вейвлет-функцій є новим представленням сигналів локації у вейвлет-області. Величини  $(W_g s)(a, b)$  та  $(W_g s')(a, b)$  обчислюються для кожного значення масштабу та зміщення, що дає змогу розглядати вейвлет-перетворення як деякий аналізуючий фільтр, з допомогою якого декомпонують сигнал на окремі компоненти. Одержаними на різних масштабах компонентами можна оперувати замість початкового сигналу. Таке подання дає змогу надалі ефективно фільтрувати завади у прийнятому сигналі відкиданням “шумових” компонент та отримувати результат безпосередньо у вейвлет-області.

Прийнятий (відбитий від об'єкта спостереження) сигнал  $s'(t)$  є масштабованою і спотвореною версією випроміненого  $s(t)$  сигналу. У випадку перетворень попередньо приведених до норми  $s(t)$  та  $s'(t)$  сигналів згідно з (1) і (2) різницеве значення зміни тривалості  $s'(t)$  щодо  $s(t)$  можна одержати безпосередньо у часо-частотній (вейвлет) області як різницю їх вейвлет-складових  $(W_g s)(a, b)$  та  $(W_g s')(a, b)$ :

$$D = (W_g s)(a, b) - (W_g s')(a, b) = |a|^{-\frac{1}{2}} \int (s(t) - s'(t)) g^* \left( \frac{t-b}{a} \right) dt. \quad (3)$$

Знайдене різницеве значення покладемо в основу формування інформативного параметра щодо наявності руху об'єкта локації.

У роботі для підвищення достовірності виявлення рухомих об'єктів опрацьовано широкосмугові імпульсні зондувальний та відбитий сигнали у часо-частотній (вейвлет) області. При використанні широкосмуговими системами локації такого типу сигналів інформативним параметром є час надходження відбитого сигналу відносно випроміненої його версії.

У загальному випадку випромінюваний широкосмуговий сигнал  $s(t)$  подається як відеоімпульс одиничної амплітуди, математичну модель якого задають як:

$$s(t) = \begin{cases} 1, & \text{if } t_0 \leq t \leq t_0 + \tau, \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (4)$$

де  $t_0$  – початок часового відліку імпульсу;  $\tau$  – тривалість імпульсу.

Відбитий від об'єкта сигнал  $s'(t)$  подається як затримана та спотворена шумами версія  $s(t)$ .

При дискретному вейвлет-перетворенні вхідної послідовності вибірок зондувального  $s[k]$  та прийнятого  $s'[k]$  сигналів на виході цифрових систем одержано відповідні послідовності деталізуючих  $d_{j,n}$ ,  $d'_{j,n}$  і апроксимуючих  $c_j$ ,  $c'_j$  коефіцієнтів, отриманих на різних рівнях перетворення  $j$ , ( $j = 1, 2, 3, \dots, J$ ;  $n = 1, 2, 3, \dots, 2^j$ ) [11, 13].

Для ефективної фільтрації  $s'[k]$  здійснено адаптивне пороговування, тобто на кожному рівні декомпозиції встановлено відповідну величину порогу  $\lambda_j$ , яку розраховано на основі аналізу статистичних характеристик складових вхідного сигналу [13].

Отже, опорний та прийнятий сигнали на  $j$ -му рівні перетворення будуть представлені сукупністю вейвлет-коефіцієнтів.

Різницева інформативне значення  $D$ , яке покладено в основу формування оцінки руху об'єкта у вейвлет-області, визначається як:

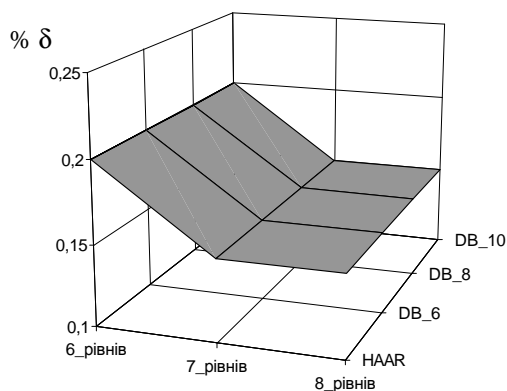
$$D = c_j - c'_j + \sum_{j=1}^{J-1} \sum_{n=1}^{N/2^j} (d_{j,n} - d'_{j,n}) \quad (5)$$

У працях автора [7–10] показано, що таке подання забезпечує якісніше відносно традиційних методів опрацювання оцінювання відповідними охоронними системами наявності рухомих об'єктів зондування в контрольованій зоні простору при апріорі невідомій формі відбитого сигналу та виду завад. Точність оцінювання зміщення вейвлет-складових відбитого сигналу відносно вейвлет-складових випроміненого (опорного) сигналу залежатиме від вибору глибини декомпозиції для досліджуваного сигналу та типу базисних вейвлет-функцій, які використовуються в процесі часо-частотного (wavelet) перетворення.

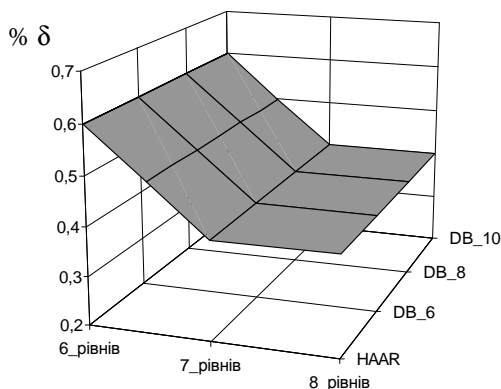
Досліджено залежності точностних характеристик від використаних базисних вейвлет-функцій та від числа рівнів декомпозиції (від 6 до 8). Одночасно оцінювався вплив на точність перетворення сигналів локації зміни тривалості переднього фронту прийнятого сигналу (15%, 30% та 50% від тривалості імпульсу).

З 26-ти отриманих значень зведеної похибки для кожної з наведених комбінацій опрацювання вибирали максимальне значення. Отримані залежності наведено на рис. 1, 2 та 3. Результати досліджень показують, що на зведену похибку перетворення більшою мірою впливає глибина декомпозиції та ступінь затягування переднього фронту обвідної прийнятого сигналу. Водночас зведена похибка перетворення меншою мірою залежить від типу та порядку використаних базисних вейвлет-функцій.

*Рис. 1. Залежності зведених похибок перетворення від використання базисних функцій Хаара (HAAR), Добеші 6-го, 8-го, 10-го порядків (Db6, Db8, Db10) при 15-процентному затягуванні переднього фронту обвідної прийнятого сигналу та накладеним на нього 15-процентного вмісту шуму з гауссівським розподілом*



*Рис. 2. Залежності зведених похибок перетворення від використання базисних функцій Хаара (HAAR), Добеші 6-го, 8-го, 10-го порядків (Db6, Db8, Db10), при 30-процентному затягуванні переднього фронту обвідної прийнятого сигналу та накладеним на нього 15-процентного вмісту шуму з гауссівським розподілом*



Для моделювання процесу опрацювання широкосмугових опорного та відбитого сигналів вейвлет-перетворенням використовувався прикладний пакет MATLAB R2009a.

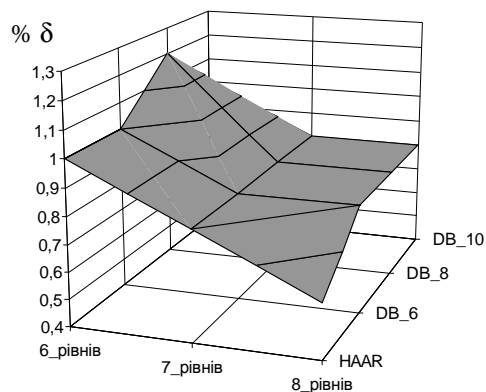


Рис. 3. Залежності зведених похибок перетворення від використання базисних функцій Хаара (HAAR), Добеші 6-го, 8-го, 10-го порядків (Db6, Db8, Db10), при 50-процентному зтягуванні переднього фронту обвідної прийнятого сигналу та накладеним на нього 15-процентного вмісту шуму з гауссівським розподілом

### Висновок

Для підвищення завадостійкості охоронних систем сигналізації та покращення ними достовірності виявлення рухомих об'єктів розроблено нові підходи щодо опрацювання широкосмугових ехо-сигналів, досліджено процес їх перетворення безпосередньо у часо-частотній (wavelet) області для різних базисних функцій, глибин декомпозиції та рівнів шумів, що дозволить розробити рекомендації для вибору найефективнішого варіанта опрацювання таких сигналів.

1. Куликов Е. И., Трифонов А. П. Оценка параметров сигналов на фоне помех. – М.: Сов. радио, 1978. – 296 с.
2. Тихонов В. И. Оптимальный приём сигналов. – М.: Радио и связь, 1983. – 320 с.
3. Тихонов В. И., Харисов В. Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. – М.: Радио и связь, 1991. – 608 с.
4. Ермолов Р. С. Цифровые частотомеры. – Л.: Энергия, 1973. – 152 с.
5. Аппаратура для частотных и временных измерений / Под ред. А. П. Горшикова. – М.: Сов. радио, 1971. – 336 с.
6. Наконечный А. Й. Покращення точності приладів вимірювання параметрів руху на основі малохвильового перетворення сигналів / А. Й. Наконечний, І. Я. Тишик // Збірник наукових праць Української академії друкарства “Комп’ютерні технології друкарства”. – 2002. – № 5, 6. – С. 145–149.
7. Тишик І. Я. Покращення інформативності вимірювачів параметрів руху об’єктів / А. Й. Наконечний, І. Я. Тишик // Збірник наукових праць Української академії друкарства “Комп’ютерні технології друкарства”. – 2007. – № 18. – С. 146–152.
8. Тишик І. Я. Комп’ютеризовані засоби оцінювання параметрів руху об’єктів на основі малохвильового (вейвлет) перетворення сигналів зондування: дис. ... канд. техн. наук 05.13.05 / Іван Ярославович Тишик. – Л., 2014. – 256 с.
9. Тишик І. Я. Виявлення та локалізація короткотривалих радіоімпульсних сигналів з використанням малохвильового (вейвлет) перетворення / І. Я. Тишик // Вісн. Нац. ун-ту “Львів. політехніка”. “Комп’ют. системи та мережі”. – 2009. – № 658. – С. 128–132.
10. Тишик І. Я. Моделювання процесу опрацювання зондованих широкосмугових сигналів вейвлет-перетворенням / І. Я. Тишик // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”: Автоматика, вимірювання та керування. – 2010. – № 665. – С. 117–122.
11. Тишик І. Я., Совин Я. Р. Підвищення завадостійкості радіохвильових охоронних систем сигналізації. Вісник Національного університету “Львівська політехніка”: “Автоматика, вимірювання та керування”. № 695, 2011. – С. 95–100.
12. Тишик І. Я. Підвищення достовірності виявлення рухомих об’єктів охоронними системами / І. Я. Тишик // Матеріали I Міжнародної науково-технічної конференції “Захист інформації і безпека інформаційних систем”, 31 травня – 1 червня 2012, с.164.
13. Тишик І. Я., Совин Я. Р. Підвищення достовірності виявлення рухомих об’єктів охоронними системами // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”: “Автоматика, вимірювання та керування”. 2012. – № 741. – С. 95–100.