

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ ОХОРОННОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ

Ó Тишик І. Я., 2015

Розглянуто можливість покращення ефективності локаційних систем охоронної сигналізації на підставі запропонованої методики опрацювання імпульсних ехо-сигналів рухомих об'єктів у часо-частотній області. Отримано математичні моделі для виявлення рухомого об'єкта у певній ділянці простору із одночасним контролем віддалі до нього. Розроблено комп'ютерну модель відповідного вейвлет-перетворювача для опрацювання ехо-сигналів систем охорони.

Ключові слова: імпульсний ехо-сигнал, часо-частотна область, вейвлет-перетворення, вейвлет-перетворювач, система охоронної сигналізації.

The possibility of improving the efficiency of the location guard signaling systems on the basis of the proposed processing technique pulse echo signals of moving objects in time-frequency domain is considered. Mathematical model for moving object detection in the defined area of space while ensuring distance control to it are presented. A computer model of the corresponding wavelet converter for processing the echo-guard systems is developed.

Key words: pulse echo signal, time- frequency domain, wavelet transform, wavelet converter, echo-guard system.

Вступ

Для підвищення ефективності систем ближньої локації широко використовують зондовані сигнали, які мають складну внутрішню структуру, містять локальні особливості різної форми і часової тривалості [1,2]. Здебільшого такі сигнали належать до класу широкосмугових. Застосування відповідними локаційними системами широкосмугових сигналів значно покращує роздільну здатність об'єктів щодо віддалі та ефективніше виокремлює рухомий об'єкт на тлі нерухомих об'єктів. Так виявляють рухомий об'єкт на тлі значної стаціонарної перешкоди. Локальні особливості, що містяться в складних (широкосмугових) ехо-сигналах, містять важливу інформацію про досліджуваний процес і не можуть бути відфільтровані як шум. Їх виділення та ідентифікація є складним завданням і пов'язані зі значними ускладненнями через відсутність адекватних математичних моделей. Традиційні методи аналізу згаданого типу сигналів [3] ґрунтуються на процедурі згладжування, що приводить до істотної втрати інформації. Складна форма локальних особливостей також робить неефективними методи спектрального аналізу [4, 5]. Ефективним методом для опису широкосмугових ехо-сигналів є вейвлет-перетворення [6–8]. У процесі створення систематизованої теорії вейвлет-перетворення побудовані ортонормовані регулярні вейвлет-базиси з компактними носіями і розроблені кратномасштабні апроксимувальні схеми сигналу, що сприяло поширенню вейвлет-перетворення в різних сферах діяльності. Також якість роботи кінцевих систем, що ґрунтуються на вейвлет-перетворенні, визначається технологією його застосування [6,7].

З огляду на це в роботі для підвищення ефективності локаційних систем охоронної сигналізації запропоновано аналізувати згадані ехо-сигнали об'єкта спостереження на основі техніки їх попереднього вейвлет-перетворення.

Аналіз досліджень та публікацій

Більшість систем охоронної сигналізації локаційного типу для виділення інформативних параметрів ехо-сигналів рухомих об'єктів використовують часову або частотну область їх подання. Рухомі об'єкти у часовій області відповідні системи охорони переважно виявляють, опрацюючи їх зондований і відбитий сигнали кореляційними та кореляційно-фільтровими методами. Перевагою кореляційних структур для опрацювання зондованих сигналів є простота їх технічної реалізації. Однак таким структурам притаманна достатньо низька завадостійкість, оскільки ними не враховуються фазові, частотні та часові флуктуації прийнятого сигналу. Головним недоліком є низька достовірність виявлення рухомих об'єктів, оскільки неможливо врахувати як спотворення обвідної відбитого сигналу, так і вплив внутрішніх шумів, унаслідок чого максимальне значення напруги (у випадку кореляційно-фільтрового приймача) може з'явитися одночасно на декількох каналах [3].

Рухомі об'єкти у частотній області відповідні системи охорони виявляють, опрацюючи зондований і відбитий сигнали фільтровими методами. Опрацювання сигналів у таких системах переважно виконують на основі узгодженої фільтрації або спектрального аналізу [3, 4].

Узгоджений фільтр забезпечує якнайкраще виявлення вхідного корисного сигналу на тлі завад, однак суттєво його спотворює, що, при певних умовах, знижує достовірність виявлення рухомих об'єктів.

За спектральними методами для виявлення руху об'єктів використовують, як правило, вузькосмугові моделі зондувальних сигналів. Такі моделі можуть являти собою як гармонійне електромагнітне коливання неперервного типу деякої постійної частоти, так і стаціонарні радіоімпульси відповідної тривалості та форми обвідної. Виявлення руху такими зондувальними сигналами ґрунтується на ефекті Доплера [4].

Виділення доплерівської інформативної складової у таких системах відбувається на тлі зовнішніх та внутрішніх завад, енергетичний спектр яких переважно є лінійним, вузькосмуговим і розташованим в області частот корисних сигналів. Це приводить до зниження стійкості радіохвильових систем охоронної сигналізації та хибних спрацювань.

Перспективною технікою для опрацювання складних сигналів є вейвлет-перетворення. У працях [6–10] показано, що саме вейвлет-фільтрація є оптимальною для сигналів з апріорі невідомою формою. Для опрацювання сигналів, в яких стрибає середнє 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.

Отже, вейвлет-перетворення є дуже зручним інструментом для адекватного представлення сигналів зі складною внутрішньою структурою, оскільки елементи його базису добре локалізовані і володіють рухомим часо-частотним вікном. Внаслідок постійної зміни розміру вікна вейвлет-перетворення здатне забезпечити пропорційну роздільну здатність у кожній частотній смузі, що дає змогу створювати вікна з постійними фрактальними роздільними здатностями ширини смуг, внаслідок чого можна аналізувати та порівнювати такі сигнали. Отже, аналіз і опрацювання складних ехо-сигналів систем охорони з метою підвищення їх завадостійкості та достовірності виявлення ними рухомих об'єктів є основним полем застосування вейвлет-перетворення.

Постановка завдання

З огляду на сказане, основним завданням цієї роботи є розроблення та дослідження структур виділення інформативних параметрів широкосмугових ехо-сигналів об'єкта спостереження на основі їх попереднього вейвлет-перетворення для підвищення ефективності та функціональності відповідних локаційних систем охоронної сигналізації.

Опрацювання ехо-сигналів системи охорони

У працях [11–13] отримано математичні моделі оцінювання інформативних параметрів сигналів локації безпосередньо у вейвлет-області, що дало змогу істотно підвищити завадостійкість і точність вимірювання, здійснено часо-частотне перетворення широкосмугових сигналів локації для різних базових функцій, глибин декомпозиції та рівнів шумів; допомогло розробити практичні рекомендації для вибору найефективнішого варіанта їх опрацювання.

На основі отриманих математичних моделей та алгоритмів вейвлет-перетворення широкосмугових сигналів локації в роботі запропоновано відповідні структури опрацювання і оцінювання таких сигналів безпосередньо у вейвлет-області, що дасть змогу підвищити завадостійкість та ефективність виявлення рухомих об'єктів локаційними охоронними системами.

При використанні охоронними системами локації короткотривалих (широкосмугових) імпульсних сигналів інформативним параметром, як правило, є час надходження відбитого сигналу відносно деякого еталону. Дискретні послідовності відбитого сигналу $s[k]$ надходять до системи вейвлет-фільтрів (ВФ) запропонованої структури вейвлет-перетворювача (рис. 1). Кожен рівень перетворення здійснює розклад вхідної послідовності відповідною парою ВФ.

На виході ВФ формуються множини вейвлет-коефіцієнтів $d_{j,n}$, які представляють ехо-сигнал у часо-частотній області. Згадані множини через блок корегування зміщень (КЗ), який враховує різницю часового зміщення вейвлет-складових ехо-сигналу на кожному рівні декомпозиції, надходять до пристрою пороговування ПП, де здійснюється на кожному рівні пороговування величин вейвлет-коефіцієнтів за універсальним критерієм [6–8]. Множини вейвлет-коефіцієнтів надходять на суматор (СМ), на виході якого формується результуюче значення вейвлет-складових ехо-сигналу V_{w-t} :

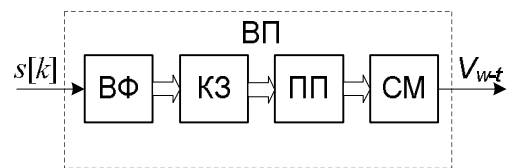


Рис. 1. Структура вейвлет-перетворювача (ВП)

$$V_{w-t} = \sum_{j=0, z=\frac{\text{length}(N_j)*J}{2^j}}^J d_{j,n-z}, \quad (1)$$

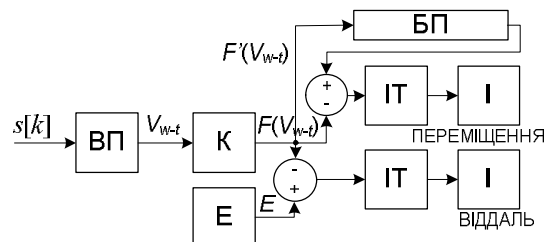
де N_j – довжина вибірки на j -му рівні декомпозиції ($j = 1, 2, 3, \dots, J; n = 1, 2, 3, \dots, 2^j$).

Результуюче значення вейвлет-складових наступного ехо-сигналу V'_{w-t} :

$$V'_{w-t} = \sum_{j=0, z=\frac{\text{length}(N_j)*J}{2^j}}^J d'_{j,n-z} \quad (2)$$

Надалі (рис. 2) опрацьовуються лише множини складових V_{w-t} та V'_{w-t} , сумарне значення яких перевищує деякий поріг виявлення I_k або дорівнює йому [12].

Рис. 2. Структура процесу комп'ютерного моделювання опрацювання ехо-сигналів для системи охорони



Амплітудні значення V_{w-t} покладено в основу формування функціональної залежності $F(V_{w-t})$ відповідним компаратором (К). Сформований нормалізований сигнал прямокутної форми з К надходить до різницевого пристрою, який формує на виході різницеве інформативне значення, яке

покладено в основу формування оцінки віддалі до об'єкта локації у часовій області $D = E - F(V_{w-t})$, де E – еталонне значення, яке подається до різницевого пристрою. Крім того, $F(V_{w-t})$ запам'ятовується у блоці пам'яті (БП). Різницевий сигнал надходить на пристрій інтегрування (ІТ), звідки інформативне значення відображається на індикаторі відстані (І).

Амплітудне значення наступного відбитого сигналу V'_{w-t} , отримане згідно з (2), покладено в основу формування функціональної залежності $F(V'_{w-t})$. Сигнал $F(V'_{w-t})$ з К та сформований нормалізований попередній сигнал $F(V_{w-t})$ з БП одночасно надходять до різницевого пристрою, який формує на виході різницеве інформативне значення S щодо наявності руху об'єкта спостереження:

$$S = F(V'_{w-t}) - F(V_{w-t}) \quad (3)$$

Різницевий сигнал надходить на ІТ, звідки інформативне значення відображається на індикаторі переміщення І.

Одержане інформативне значення D та S покладено в основу формування сигналу тривоги відповідної системи охоронної сигналізації.

Результат симуляції, проведеної на основі комп'ютерної моделі, розробленої згідно із структурою (рис. 2), зображено на рис. 3. Для моделювання процесу опрацювання широкосмугових опорного та відбитого сигналів вейвлет-перетворенням використовували прикладний пакет MATLAB R2009a.

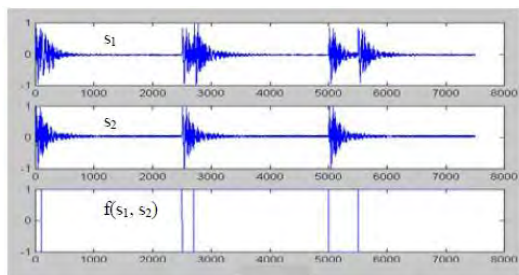


Рис. 3. Результат симуляції

На другій позиції моделі зображено ехо-сигнали s_2 від нерухомих об'єктів у заданій ділянці простору. На верхній позиції демонструється картина, коли з'являється рухомий об'єкт на тлі попереднього нерухомого. У цьому випадку з'являються ехо-сигнали s_1 від рухомого об'єкта.

На нижній позиції демонструються сигнали $f(s_1, s_2)$, сформовані на виході компаратора. Нерівномірність віддалі між ними слугує інформативним параметром, що свідчить про наявність рухомого

об'єкта у контрольованій ділянці простору і є основою формування сигналу тривоги відповідної системи охорони.

Перевагою такого подання є те, що надається можливість оцінювати віддалі до рухомого об'єкта у кожен наступний момент часу, завдяки чому можна достовірно виявити його переміщення на тлі нерухомих об'єктів.

Висновок

Розроблено комп'ютерну модель вейвлет-перетворювача системи охоронної сигналізації, яка дає змогу застосувати диференційований підхід щодо формування сигналу тривоги, враховуючи віддалі до рухомого об'єкта локації.

У результаті комп'ютерного моделювання встановлено, що опрацювання прийнятих короткотривалих сигналів локації з використанням попереднього їх вейвлет-перетворення одночасно дає змогу реалізувати ефективну фільтрацію завад і часову локалізацію, що забезпечує достовірне виявлення рухомого об'єкта локації у контрольованій ділянці простору.

1. Кузьмин С. З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию / С. З. Кузьмин. – К.: ВЦ, 2000.
2. Бакулев П. А. Радиолокационные системы / П. А. Бакулев. – М.: Радиотехника, 2004. – 320 с.: ил..
3. Опенгейм А., Шафер Р. Цифровая обработка сигналов. Изде. 2-е, испр. – М.: Техносфера, 2007. – 856 с.
4. Афонский А. А., Дьяконов В. П. Цифровые анализаторы спектра, сигналов и логики / Под ред. проф. В. П. Дьяконова. – М.: СОЛОН-Пресс, 2009. – 248 с.
5. Aly O. A. M. and Omar A. S.

“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. 6. Наконечний А. Й. Інтерпретація широкосмугових вимог у динамічних системах / А. Й. Наконечний // Вісник Держ. ун-ту “Львівська політехніка” “Автоматика, вимірювання та керування”. – 2000. – № 389. – С. 38–45. 7. Тишик І. Я. Покращання 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. тех. 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 “Львівська політехніка” “Комп’ютерні 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 Нац. ун-ту “Львівська політехніка” “Автоматика, вимірювання та керування”. – 2011. – № 695. – С. 95–100. 12. Тишик І. Я. Підвищення точності часової локалізації імпульсних сигналів зондування / І. Я. Тишик, Я. Р. Совин // Вісник Держ. ун-ту “Львівська політехніка” “Автоматика, вимірювання та керування”. – 2014. – № 802. – С. 65–70. 13. Тишик І. Я. Широкосмугове опрацювання сигналів систем охорони / І. Я. Тишик // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка” “Комп’ютерні системи та мережі”. – 2014. – № 806. – С. 270–274.