

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ЧАСОВОЇ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ІМПУЛЬСНИХ СИГНАЛІВ ЗОНДУВАННЯ

© І.Я. Тишик, Я.Р. Совин 2014

Для підвищення точності часової локалізації відбитих імпульсних сигналів зондування запропоновано здійснювати їх опрацювання безпосередньо у часо-частотній (вейвлет) області. Показано, що таке подання дозволяє якісно оцінювати час надходження відбитих сигналів на тлі завад. Приведено результати моделювання відбитих імпульсних сигналів у часовій та вейвлет областях, наведена оцінка похибок.

For the improvement of time accuracy localizing for the reflected pulse sounding signals is proposed with purpose it their process in a time-frequency (wavelet) domain directly. It is shown that such presentation allows qualitatively to estimate time for the reflected pulse sounding in noise conditions. The results of design for the reflected pulse signals into a time and wavelet domains are resulted, an estimation is given to the errors.

Вступ

Для оцінки малих віддалей до об'єктів системами ближньої локації (наприклад в медицині, гідроакустиці, ультразвукових системах локації, для контролю дистанції між автотранспортом при його русі в умовах недостатньої видимості на невеликих швидкостях), широко використовуються як зондувальні короткотривалі сигнали, оскільки такі сигнали дозволяють забезпечити необхідну роздільну здатність щодо віддалі. При аналізі та опрацюванні таких сигналів традиційними методами (кореляційний, кореляційно-фільтровий, на основі часо-частотного фільтра, робота якого ґрунтується на дискретному віконному перетворенні Фур'є і т.д.), виникає проблема забезпечення їх крутизни. Подані методи опрацювання приводить до значних похибок при оцінюванні часових параметрів відбитих короткотривалих сигналів унаслідок їх спотворення зовнішніми та внутрішніми завадами. Аналіз таких відбитих сигналів у частотній області не вирішує дану проблему, а значить, не вдається якісно оцінити час надходження вказаних сигналів, що приводить до виникнення додаткових похибок в процесі оцінювання віддалі.

Перспективною технікою для опрацювання сигналів з перепадами рівня є вейвлет-перетворення. У працях [1-3] показано, що саме вейвлет-фільтрація є оптимальною для сигналів з апіорі невідомою формою. Для опрацювання сигналів, які мають скачки свого середнього значення (наприклад, прямокутні імпульси) було запропоновано метод з адаптивним порогом, який дозволяє частково зберегти різкий фронт імпульсу, що значно зменшує похибку його часової локалізації. У роботі запропонований 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.

Аналіз досліджень та публікацій

У багатьох пристроях і системах локації для оцінювання параметрів руху об'єктів широко використовують, як зондовані, короткотривалі імпульсні сигнали, оскільки такі сигнали дозволяють отримати необхідну роздільну здатність щодо віддалі. З врахуванням специфіки цих сигналів, інформативним параметром переважно слугує різницеве значення, що характеризує запізнення в часі прийнятого сигналу відносно випроміненого (опорного). Отже, відбитий від рухомого об'єкта сигнал матиме часове зміщення щодо попередньої (випроміненої) його версії. Для опрацювання вищеподаних сигналів переважно використовують кореляційні та кореляційно-фільтрові методи [4, 5]. Згадані методи втрачають ефективність, якщо сигнали приймаються з високим вмістом завад і при цьому невідома апіорна інформація про їх вид і характер зміни. Крім того, ефективність зокрема спектральних методів опрацювання згаданих сигналів знижується, оскільки при відповідній фільтрації не вдається врахувати високочастотні складові, які описують області розриву сигналу. Це приводить до спотворення фронтів цього сигналу при його реконструкції у часовій області, а, значить, до виникнення додаткових похибок в процесі оцінювання віддалі.

У ряді праць [6-8] з метою покращення точності оцінювання часового зміщення відбитого сигналу щодо випроміненої його версії на тлі різного типу завад, здійснюється опрацювання цих сигналів з використанням техніки вейвлет перетворення.

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. 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. Таким чином, аналіз і опрацювання короткотривалих сигналів зондування з метою оцінювання їх часових параметрів є основним полем застосування вейвлет-перетворення.

Фільтрацію сигналів за допомогою вейвлет-перетворення традиційно здійснюється у чотири етапи: розклад досліджуваного сигналу за базисом вейвлетів; вибір порогового значення шуму для кожного рівня розкладу; порогова фільтрація коефіцієнтів деталізації; реконструкція сигналу в часову область.

Зі статистичної точки зору подана методика представляє собою непараметричну оцінку регресивної моделі сигналу з використанням ортогонального базису. Методика найкращим чином знаходить своє застосування при аналізі достатньо гладких сигналів, у розкладі яких лише невелика кількість коефіцієнтів деталізації значно відрізняється від нуля [3, 6].

Вибір вейвлет функції і глибина вейвлет розкладу, в загальному випадку, залежить від властивостей конкретного досліджуваного сигналу. При виборі цих параметрів, як правило, дотримуються наступних рекомендацій: більш гладкі вейвлет функції створюють більш гладку апроксимацію сигналу, і навпаки – короткотривалі вейвлет функції краще відслідковують локальні особливості апроксимуючої функції; глибина декомпозиції впливає на масштаб відсіюваних деталей. При збільшенні глибини розкладу модель вираховує складові шуму усе більшого рівня до тих пір, поки не наступить “переукрупнення” масштабу деталей і перетворення почне спотворювати форму вихідного сигналу. Таким чином, при подальшому збільшенні глибини розкладу перетворення починає формувати згладжену версію вихідного сигналу, відфільтровуючи не лише шумові складові, але й деякі складові, які описують локальні особливості

досліджувального сигналу, що приводить до погіршення точностних характеристик при оцінюванні часових параметрів відбитих короткотривалих сигналів.

В умовах нестаціонарності 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. З огляду на сказане, у роботі пропонується здійснювати опрацювання зондованих короткотривалих сигналів локаційних систем на основі вейвлет-перетворення з подальшим оцінюванням часових координат їх складових декомпозиції безпосередньо у часо-частотній (вейвлет) області, що повинно привести до підвищення точності оцінювання часових параметрів таких відбитих сигналів на тлі завад.

Опрацювання короткотривалих сигналів зондування

У роботі для підвищення точності оцінювання параметрів руху об'єктів, виконується дослідження можливості аналізу короткотривалих імпульсних зондувального та відбитого сигналів у вейвлет області. При використанні широкосмуговими системами локації такого типу сигналів, інформативним параметром є час надходження відбитого сигналу відносно випроміненої його версії.

У загальному випадку, такий випромінюваний сигнал подається як прямокутний імпульс одиничної амплітуди $s(t_c)$ (рис. 1 а). Відбитий від об'єкта сигнал $s'(t_c)$ моделюється як затримана на t_z , спотворена шумами версія випромінюваного сигналу (рис. 1 б).

Залежність величини часу затримки між відбитим і випромінюваним сигналами по відношенню до віддалі є лінійною. Фільтрування зашумленого сигналу здійснюється відомим традиційним способом [4, 5]. Відфільтрований сигнал поданий на рис. 1 в.

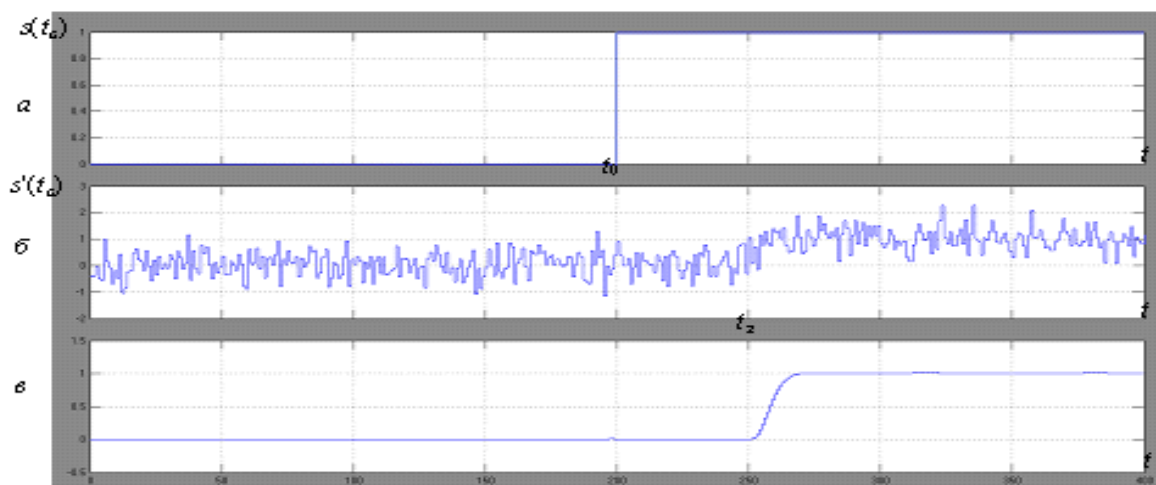


Рис.1. Подання випромінюваного та відбитого сигналів локації в часовій області

(а – обвідна випромінюваного (зразкового) сигналу $s(t_c)$;

б – обвідна імітованого відбитого сигналу $s'(t_c)$;

в – відфільтрована класичним способом обвідна відбитого сигналу $s'(t_c)$)

Для здійснення ефективної фільтрації $s(t)$ встановлюється на кожному рівні декомпозиції відповідну величину порогу λ_j . Фіксація величини цього порогу являє собою мінімаксну оцінку, для якої реалізується мінімум середньоквадратичної похибки відтворення сигналу з використанням отриманого вектора коефіцієнтів вейвлет-перетворення [3]. Згідно такої статистичної оцінки для вектора вейвлет коефіцієнтів довжиною $N_j \leq 32$ величина порогу $\lambda_j = 0$; в інших випадках для відповідного рівня декомпозиції j :

$$\lambda_j = 0,3936 + 0,1829(\log(N_j)/\log(2)) \quad (1)$$

Оскільки результат вейвлет аналізу сигналу містить не лише простий перелік його характерних частот, а і відомості про певні локальні часові координати, при яких ці частоти себе проявляють, то величини вейвлет коефіцієнтів кожного рівня декомпозиції $d_{j,n}$, $c_{j,n}$ та $d'_{j,n}$, $c'_{j,n}$, одержані в результаті згортки фільтрових коефіцієнтів з вибірками сигналу на основі алгоритму Малла [2], є локалізованими у часі. Таким чином, при запізненні відбитого від об'єкта імпульсу відносно опорного, пропорційно затримуються значення вейвлет коефіцієнтів його декомпозиції c'_j та $d'_{j,n}$ відносно значень вейвлет коефіцієнтів декомпозиції опорного імпульсу c_j та $d_{j,n}$ відповідно, де $j = 1, 2, \dots, J$, $n = 1, 2, \dots, N$.

Порогування коефіцієнтів деталізації здійснюється на основі наступної умови:

$$d'_{j,n} = \begin{cases} d'_{j,n} + \lambda_j & \text{при } d'_{j,n} < 0 \text{ і } |d'_{j,n}| > \lambda_j \\ d'_{j,n} - \lambda_j & \text{при } d'_{j,n} > 0 \text{ і } |d'_{j,n}| > \lambda_j \\ 0 & \text{при } |d'_{j,n}| \leq \lambda_j \end{cases} \quad (2)$$

Опрацьовуватися у подальшому будуть вейвлет коефіцієнти опорного $d_{j,n}$ та відбитого $d'_{j,n}$ сигналів, які визначатимуться згідно умови (2).

Результуюче значення вейвлет складових опорного V_o та відбитого V_e' сигналів за усіма рівнями декомпозиції становитиме:

$$V_o = \sum_{j=1, z=\frac{(N-1)}{2^j}(J-j)}^J d_{j,n-z}, \quad V_e' = \sum_{j=1, z=\frac{(N-1)}{2^j}(J-j)}^J d'_{j,n-z} \quad (3)$$

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

У точках перетину V_o та V_e' з порогом λ_k (λ_k вибирається як $1/2\max(V_e')$) формуються нормовані функціональні залежності $F(V_o)$ та $F(V_e')$:

$$F(V_o) = \begin{cases} 1 & \text{при } V_o \geq \lambda_k \\ 0 & \text{при } V_o < \lambda_k \end{cases}, \quad F(V_e') = \begin{cases} 1 & \text{при } V_e' \geq \lambda_k \\ 0 & \text{при } V_e' < \lambda_k \end{cases}, \quad (4)$$

які є новими представленнями відповідно опорного та відбитого сигналів локації після пороговування у вейвлет області).

Інформативне значення яке лежить в основі формування оцінки віддалі до об'єкта локації у вейвлет області D визначається як різниця функціональних залежностей:

$$D = F(V_o) - F(V_e') = F\left(\sum_{j=1, z=\frac{(N-1)}{2^j}(J-j)}^J d_{j,n-z}\right) - F\left(\sum_{j=1, z=\frac{(N-1)}{2^j}(J-j)}^J d'_{j,n-z}\right) \quad (5)$$

Особливістю розглянутого способу оцінки віддалі до рухомого об'єкта локації є можливість одержання цієї оцінки безпосередньо у вейвлет області. Згадана оцінка формується на основі знайдених локальних часових координат сукупності вейвлет коефіцієнтів випромінюваного та відбитого сигналів, одержаних на виході відповідних фільтрових систем. Значення різниці часового зсуву цієї сукупності лінійно залежить від відстані до об'єкта локації. Остаточне, різницеве інформативне значення зсуву визначається як різниця нормованих функціональних залежностей, сформованих у точках перетину на деякому рівні із певними значеннями сукупності вейвлет складових опорного та прийнятого сигналів. Такий підхід дає можливість суттєво зменшити

похибку оцінки часової залежності між випромінюваним і відбитим сигналами, яка обумовлена затягуванням переднього фронту відбитого сигналу.

Моделювання процесу опрацювання прийнятого сигналу локації

Як вже зазначалося вище, для підвищення точності дистанційного вимірювання віддалі до об'єкта зондування запропоновано здійснювати опрацювання обвідних імпульсних зондованого та відбитого сигналів на основі їх попереднього вейвлет перетворення. Інформативним параметром у цьому випадку слугують різниці значень сукупності вейвлет коефіцієнтів відповідних рівнів, які характеризують запізнення в часі прийнятого сигналу відносно опорного.

У процесі опрацювання випромінюваного та відбитого сигналів у вейвлет області використовувалися базові функції Хаара та пірамідальний алгоритм Малла. Число рівнів розкладу для вхідних сигналів становило 8. Представлені у вигляді вейвлет коефіцієнтів вхідні сигнали, підсумовувалися на відповідних рівнях упродовж інтервалу опрацювання. На імітований відбитий сигнал накладався шум з гаусівським розподілом рівень якого становить 30% від рівня максимальної амплітуди сигналу. Час встановлення переднього фронту прийнятого сигналу змінювався від 0 до 50% тривалості імітованого відбитого сигналу.

З метою порівняння із запропонованим способом опрацювання здійснено опрацювання згаданих сигналів традиційним способом безпосередньо у часовій області та на основі традиційного вейвлет перетворення з використанням “універсального” критерію при виборі рівня порогу [8].

Результати досліджень процесу опрацювання зондованого та відбитого широкосмугових сигналів, які проводилися згідно запропонованого алгоритму наведені на рис.2 – 4.

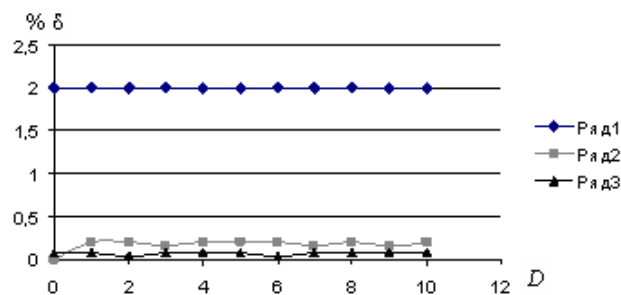


Рис.2. Залежності зведених похибок від різницеви значень опорного та відбитого зміщеного сигналів без затягування переднього фронту обвідної прийнятого сигналу. (Ряд1 – традиційний спосіб опрацювання), (Ряд2- вейвлет опрацювання зі зворотним перетворенням), (Ряд3 вейвлет опрацювання без зворотного перетворення)

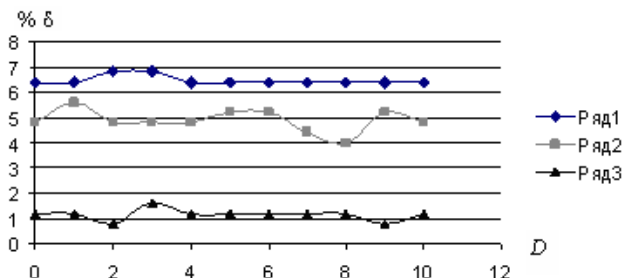


Рис.3. Залежності зведених похибок від різницеви значень опорного та відбитого зміщеного сигналів при 30-ти процентному затягуванні переднього фронту обвідної прийнятого сигналу. (Ряд1 – традиційний спосіб опрацювання), (Ряд2- вейвлет опрацювання зі зворотним перетворенням), (Ряд3 вейвлет опрацювання без зворотного перетворення)

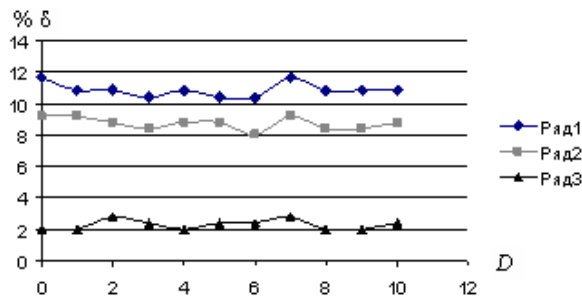


Рис.4. Залежності зведених похибок від різницевого значень опорного та відбитого зміщеного сигналів при 50-ти процентному затягуванні переднього фронту обвідної прийнятого сигналу. (Ряд1 – традиційний спосіб опрацювання), (Ряд2- вейвлет опрацювання зі зворотним перетворенням), (Ряд3 вейвлет опрацювання без зворотного перетворення)

Висновки

У результаті проведених досліджень встановлено, що опрацювання короткотривалих сигналів зондування з використанням попереднього їх вейвлет перетворення забезпечує одночасно ефективну фільтрацію від завад і добру часову локалізацію таких сигналів. Встановлено, що найбільш вигідним та інформативним є використання часо-частотної (вейвлет) форми подання згаданих сигналів з подальшим їх опрацюванням у цій області. Такий підхід забезпечує можливість ефективного опрацювання короткотривалих сигналів зондування відповідними системами локації, вищі завадостійкість і точність оцінювання віддалі до об'єкта локації у порівнянні з традиційними способами подання та опрацювання таких сигналів.

1. А.Й. Наконечний. Покращення точності приладів вимірювання параметрів руху на основі малохвильового перетворення сигналів / А.Й. Наконечний, І.Я. Тишик // Збірник наукових праць. Українська академія друкарства. – Комп'ютерні технології друкарства, Л.: 2002, № 5, 6 -С. 145-149.
2. Тишик І.Я. Покращання інформативності вимірювачів параметрів руху об'єктів / А.Й. Наконечний, І.Я. Тишик // Збірник наукових праць. Українська академія друкарства. – Комп'ютерні технології друкарства, Л.: 2007, № 18, - С. 146-152.
3. Тишик І.Я. Комп'ютеризовані засоби оцінювання параметрів руху об'єктів на основі малохвильового (вейвлет) перетворення сигналів зондування: дис. кандидата технічних наук 05.13.05 / Тишик Іван Ярославович. – Л. 2014. – 256 с.
4. Бакулев П.А. Радиолокационные системы / П.А. Бакулев – М.: Радиотехника, 2004. - 320 с.: ил.
5. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация/ С.З. Кузьмин. – Киев: ВЦ, 2000.
6. 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.
7. 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.
8. Тишик І.Я. Моделювання процесу опрацювання зондованих широкосмугових сигналів вейвлет-перетворенням / І.Я. Тишик // Вісник Національного університету "Львівська політехніка": Автоматика, вимірювання та керування. – 2010. – № 665. – С. 117-122.