

## МЕТОДИ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ В ЗАДАЧАХ ІДЕНТИФІКАЦІЇ І ПРИДУШЕННЯ ЗАВАД СИГНАЛІВ УКХ ДІАПАЗОНУ

*У статті розглянута задача придушення шумової складової корисного сигналу, який передається по радіоканалу УКХ діапазону (VHF), та його подальша ідентифікація засобами вейвлет аналізу. Були експериментально досліджені класичні задачі вейвлет аналізу, а саме вибір базової вейвлет-функції, визначення рівня розкладання (декомпозиції) сигналу, а також проаналізовано задачі вибору алгоритмічної процедури придушення шуму, критерію граничного порогу та виду трешолдінгу.*

*Експериментальні дані отримані методом математичного моделювання з використанням пакету MatLab.*

*Ключові слова: вейвлет аналіз, придушення шуму, ідентифікація сигналу, трешолдінг.*

**Вступ.** Прийом радіосигналів завжди супроводжується перешкодами і шумами. При рівні перешкод, близькому до максимального значення сигналу, важко виявити навіть саму присутність корисного сигналу. Більшість сигналів містять випадкові перешкоди і «викиди» значень, тобто зміни сигналу, що різко виділяються які викликані небажаними або винятковими подіями. У системах радіолокації і радіозв'язку перешкоди в часовому ряду корисного сигналу можуть бути викликані різноманітними похибками і шумами, що виникли через наведення при проходженні даного сигналу по каналах зв'язку (білим, імпульсним і іншими видами шумів).

Такі «викиди» значень та шумові складові можуть спотворити результати аналізу істотних періодичних компонент сигналу, його тренда. Подальший аналіз, обробка та прогнозування часових рядів може здійснюватися лише за умови попереднього згладжування. Достовірне прогнозування та відновлення втрачених значень можливо лише при використанні згладжених часових рядів даних [1].

**Постановка завдання.** В статті розглядається питання придушення шумової складової корисного сигналу та його ідентифікацію з використанням вейвлет аналізу. Розглянуто метод очищення сигналів від шумів за допомогою вейвлетів: Хаара, Мейера, Добеши і Сімлета.

**Результати дослідження.** На сьогоднішній день революційна глобалізація комп'ютерних та мережевих технологій в промисловості, інтелектуалізація засобів виміральної техніки, що досягається впровадженням мікропроцесорної техніки, і лавиноподібний розвиток теорії вейвлет-аналізу, який супроводжується її широким залученням до вирішення проблем, що становлять коло сучасних практичних потреб, а саме забезпечення створення сприятливих умов для вирішення завдань обробки виміральної інформації та, зокрема, завдання придушення шуму. Поява ряду методологічних парадигм щодо придушення шуму, а також побудованих на їх основі програмних і апаратних реалізацій, в значній мірі просунули вирішення завдання придушення шуму, як однієї з головних завдань обробки. Своїм існуванням дані парадигми зобов'язані групам розробників з різних університетів США і в тому числі Д.Донохо і І.Джонстону (Стенфорд), які першими отримали найбільш цікаві результати, Ж.Керкьячаряну (Амієнс), групам С.Малла (Курант), Р. Койфмана (Єльський університет), М.Хілі (Дартмут), які працювали в напрямку обробки медичних зображень, а також Р.Девору (університет штату Південна Кароліна), Б.Лусье (Пердью), який отримав цікаві рішення задачі обробки сигналів з використанням теорії апроксимації [2].

Сутність вейвлет-аналізу полягає в тому, що сигнал, розкладається на апроксимуючі коефіцієнти –  $cA_i$ , які представляють згладжену, основну частину інформації сигналу, і деталізують коефіцієнти –  $cD_i$ , що описують уточнюючу інформацію про сигнал

(коливання), на різних рівнях розкладання  $i, i = \overline{1, N}$ , тобто високочастотні коливання щодо середніх значень [3,4].

Зазвичай передбачається, що сигнал шумової компоненти по модулю менше основного. При виконанні цієї умови найпростіший спосіб очищення сигналу від шуму полягає в присвоєнні нульових значень коефіцієнтів, що не перевищують деякого граничного значення. Ця процедура називається вейвлетною фільтрацією коефіцієнтів по заданому порозу (трешолдінгом) [4,5]. Від вибору порогового рівня фону (оцінки дисперсії шуму) залежить якість придушення шуму, що оцінюється в вигляді відносини сигнал / шум.

Існують різні види трешолдінга: м'який і жорсткий. При жорсткій пороговій обробці зберігаються незмінними всі коефіцієнти, великі або рівні по абсолютному значенню заданого порогу, а менші коефіцієнти обертаються в нуль. При м'якій пороговій обробці поряд з оберненням в нуль коефіцієнтів, по модулю менших порога, відбувається зменшення по модулю всіх інших коефіцієнтів на величину порога. Поріг може бути глобальним або різним для кожного рівня декомпозиції, в залежності від частотних особливостей сигналу що обробляється. Від вибору порогового рівня залежить якість згладжування сигналу.

Вейвлет-функції володіють властивістю частотно-часової локалізації сигналів, а також швидкими обчислювальними алгоритмами. Таким чином, навіть в умовах нестационарності сигналів, наявності в них деякого вимушеного фону робить вейвлет-функції найкращим базисом для вирішення поставленого завдання. Дійсно, недостатня здатність аналізу Фур'є локалізувати сингулярності сигналів, необхідність введення в часовій області вікон даних і, як наслідок, розмивання спектру сигналів за рахунок появи помилкових пелюсток обумовлюють природний рух практики обробки сигналів до методів, що забезпечує краще частотно-часову роздільну здатність.

Рішення завдання придушення шуму, в загальному вигляді, незалежно від природи інформації, що оброблюється, та має комплексний характер, оскільки розділяється на вирішення цілого ряду підзадач. Серед таких підзадач можна відзначити, наприклад, перевірку достовірності гіпотези про гауссову статистику і спектральний склад шумовий компоненти, вибір типу функції порогової обробки (трешолдінга) і разом з цим критерію розрахунку самого порога, а також стандартні питання вейвлет-аналізу, що носять загальний характер: вибір найбільш підходящого вейвлет-базису, встановлення необхідної глибини розкладання даних і т.п.

Зупинимося детальніше на деяких часткових завданнях, а саме на виборі найбільш підходящого вейвлет-базису і глибини деталізації (декомпозиції) при придушенні шуму на виході приймача.

В якості еталонного сигналу, виступав прийнятий RTL SDR УКХ приймачем на стандартну антену сигнал на частоті  $\approx 148$  МГц (кількість відліків еталонного сигналу становить 249600 відліків). Даний сигнал був прийнятий і записаний на комп'ютер за допомогою ПЗ SDRSharp. Подальша обробка здійснювалась з використанням математичного пакету MatLab.

Як шумова складова (перешкода) був обраний білий Гаусовий шум. Даний вид шуму був промодельований в пакеті MatLab з кількістю відліків, який дорівнює кількості відліків еталонного сигналу ( $su=0.1 * \text{randn}(1, 249600)$ ).

Досліджуваний сигнал отримали шляхом складання еталонного і шумового сигналів, що показано на рис 1.

Експеримент по ідентифікації і придушення шуму проходив за такою методикою:

1. Декомпозиція сигналу. Обирається вейвлет і рівень розкладання  $N$ . Обчислюється вейвлет-розкладання вихідного сигналу до заданого рівня  $N$ .
2. Порогова обробка деталізують коефіцієнтів. Для кожного рівня вибирається поріг і застосовується порогова обробка деталізують коефіцієнтів.
3. Реконструкція сигналу. Проводиться вейвлет-реконструкція, яка заснована на початкових апроксимуючих коефіцієнтах і перетворених деталізуючих коефіцієнтах.

4. Визначається: найкращий вейвлет, рівень декомпозиції, критерій вибору порога і виду трешолдінга на основі обчислення коефіцієнта кореляції зразкового і реконструйованого сигналів, використовуючи команду  $R = \text{corrcoef}$  пакету MatLab.

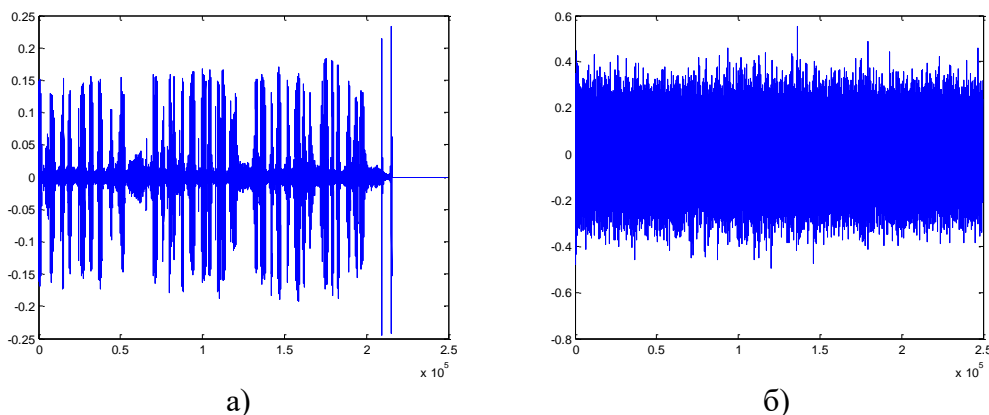


Рис. 1. Графіки еталонного (а) і досліджуваного сигналів (б)

I. Як базові, використовувалися вейвлети Хаара «haar», Добеши: «db2», «db4», «db8», дискретні апроксимації вейвлетів Мейера «dmeu» та сімплет «sym8».

II. В якості правила вибору порогового рівня застосовувалися критерії:

- адаптивної незміщеної оцінки ризику Штейна (Rigorous Sure), команда «rigrsure»;
- модифікований евристичний критерій Штейна (Heuristic Sure), команда «heursure»;
- універсальний критерій Донохью-Джонстона команда «sqrtwolog»;
- мінімакний критерій, команда «minimaxi»;

III. Як вид трешолдінга був використаний, як м'який (параметр 's'), так і жорсткий (параметр 'h') трешолдінг.

В якості програмних процедур (функцій) придушення шуму та ідентифікації були використані: функція автоматизованого придушення шуму сигналу (wden); функція придушення шуму / стиснення (wdencmp); трешолдінг вейвлет-пакета (wptcoef). При використанні функції автоматизованого придушення шуму сигналу, як параметр були використані параметри мультиплікативного перемасштабування порога: значення 'mln' - дозволяє вказати необхідність використання порога, перераховується для кожного з рівнів розкладання даних; значення 'sln' - вказати необхідність використання порога, перерахованого тільки для першого рівня розкладання; значення 'one' - необхідність використання порога, єдиного для всіх рівнів розкладання. Також, на відміну від інших публікацій за подібною тематикою, при проведенні експерименту не застосовувався GUI Wavelet Toolbox пакету MatLab.

**Результати експерименту.** 1. Функція автоматичного придушення шуму (без перемасштабування). На рис. 2 зображені графіки значень коефіцієнта кореляції двох сигналів від рівня декомпозиції. Найліпша подібність сигналів виявилася при розкладанні сигналу до 2-го рівня, а найліпшими базовими вейвлет-функціями виявились: «db8», «dmeu» та «sym8». Вейвлет «dmeu» виявився найкращим при усіх реалізаціях експерименту, а «db8» та «sym8» по чергово займали другу ліпшу позицію.

Перемасштабування. На рис. 2 зображені графіки значень коефіцієнта кореляції двох сигналів від рівня декомпозиції. Найліпша подібність сигналів виявилася при розкладанні сигналу до 2-го рівня, а найліпшими базовими вейвлет-функціями виявились: «db8», «dmeu» та «sym8». Вейвлет «dmeu» виявився найкращим при усіх реалізаціях експерименту, а «db8» та «sym8» по чергово займали другу ліпшу позицію.

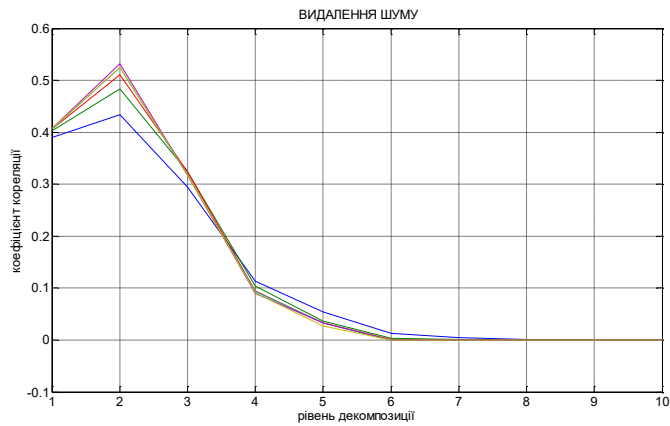


Рис. 2. Графік залежності коефіцієнта кореляції функція `wden`, параметр `'one'`

Суттєвих розбіжностей при переборі критеріїв вибору граничного рівня не було, кращий результат: модифікований евристичний критерій Штейна «`heursure`» з жорстким параметром трешолдінгу `'h'`.

2. Функція автоматичного придушення шуму (з використанням перемасштабування). Результати експерименту приведені на рис. 3, 4.

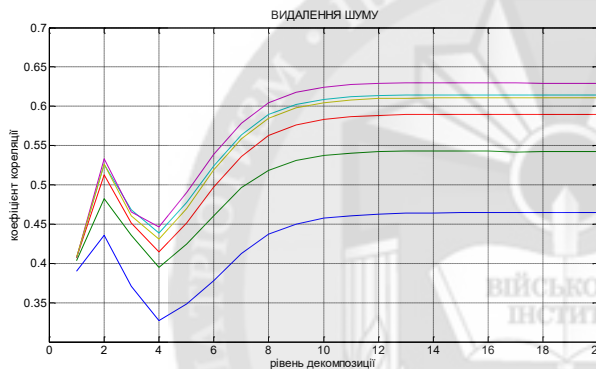


Рис. 3. Графік залежності коефіцієнта кореляції, функція `wden`, параметр `'sln'`

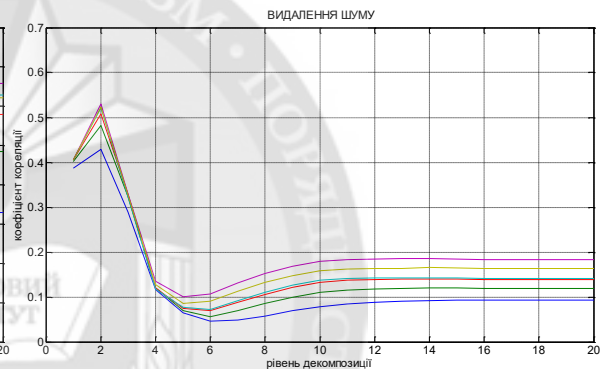


Рис. 4. Графік залежності коефіцієнта кореляції, функція `wden`, параметр `'mln'`

Результати (рис. 3), відповідають випадку застосування критеріїв адаптивної незміщеної оцінки ризику Штейна «`rigrsure`», та модифікованому евристичному критерію Штейна «`heursure`», а результати (рис.4) – критерію Донохо-Джонстона «`sqrtwolog`» та мінімаксному критерію «`minimaxi`». Вибір виду трешолдінгу (м'який, жорсткий) для даних умов виявився не критичним. Найліпші результати при переборі вейвлетів отримані за допомогою вейвлетів: «`db8`», «`dmeu`» та «`sym8`».

3. Функція придушення шуму/стиснення (`wdencomp`). Результати приведені на рис. 5.

4. Функція трешолдінгу вейвлет-пакета (`wptcoef`). Результати приведені на рис. 6.

Аналіз експериментальних даних показує: найліпший рівень декомпозиції дорівнює – 2-му рівню, а базова вейвлет-функція – «`dmeu`». Також гарні результати отримані при застосування вейвлетів «`db8`», та «`sym8`». Вибір критерію визначення граничного порогу, як і для попередніх результатів, виявився не критичним. Найліпші результати при виборі функції (`wdencomp`): вейвлет - «`dmeu`», критерій - адаптивної незміщеної оцінки ризику Штейна «`rigrsure`», а при функції (`wptcoef`): вейвлет - «`dmeu`», критерій – мінімаксний «`minimaxi`».

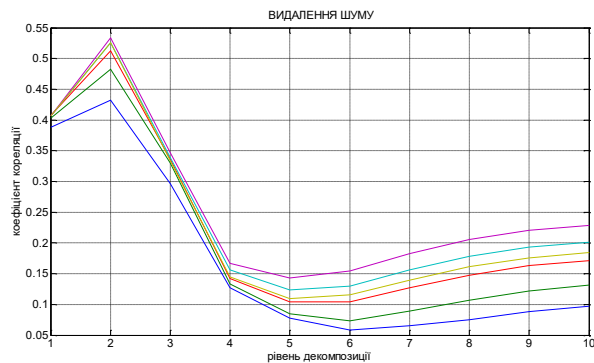


Рис. 5. Графік залежності коефіцієнта кореляції, (wdencomp)

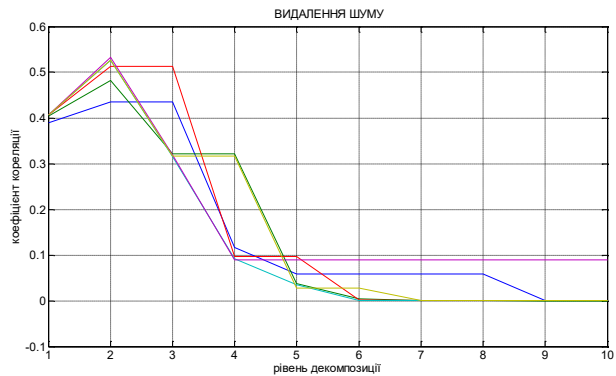


Рис. 6. Графік залежності коефіцієнта кореляції, (wptcoef)

Основний скрипт, який був використаний при дослідженні:

```
load SDRSharp_1;
su=0.1*randn(1,249600);%шум
SUS=SDRSharp_1+su;%образцовый сигнал+шум
for i=1:1:10;
    SUS_H=wden(SUS,'heursure','h','one',i,'dmey');
    R=corrcoef(SDRSharp_1,SUS_H);
    RR_dmey(1,i)=R(1,2);
end
```

**Висновки.** При вирішенні задачі придушення шумової складової в сигналі УКХ приймача з подальшою ідентифікацією засобами вейвлет аналізу, можна зробити наступні висновки:

1. На підставі проведеного аналізу існуючих підходів до фільтрації нестационарних сигналів в якості математичного апарату обраний кратномасштабного вейвлет-аналіз, застосування якого дозволяє виділити і зберегти локальні особливості сигналу.
2. Материнський вейвлет для проведення фільтрації повинен мати властивість ортогональності і можливість реконструкції сигналу.
3. В якості «материнського» вейвлету доцільно використовувати дискретну аппроксимацію вейвлетов Мейера «dmey», а також Добеши «db8» та симплет «sym8».
4. Декомпозиція сигналу до другого рівня виявилася найліпшою, практично при усіх експериментах.
5. Вибір критерію щодо визначення порогу та виду трешолдінгу суттєво не впливають на результати ідентифікації.
6. При наявності суттєвих вимог по швидкодії аналізу, вейвлет «dmey» використовувати не доцільно т.я. для нього недоступні швидкі алгоритми.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Белов А.А Сглаживание временных рядов на основе вейвлет-преобразования в системах автоматизированного экологического мониторинга / А.А. Белов, А.Ю.Проскураков.// Методы и устройства передачи информации.– 2010. – Вып.12. – С.21-24.
2. Алексеев К.А. Теория и практика шумоподавления в задаче обработки сейсмоакустических сигналов. <http://matlab.exponenta.ru/wavelet/book5/index.php>
3. Солонина А.И. Цифровая обработка сигналов. Моделирование в MATLAB / А.И. Солонина, С.М. Арбузов. – СПб.: БХВ. Петербург, 2008. – 816 с.
4. Смоленцев Н.К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. / Н.К.Смоленцев. – М.:ДМК Пресс, 2005. – 304 с.
5. Московский С.Б. Очистка сигнала от шумов с использованием вейвлет-преобразования / С.Б.Московский, А.Н.Сергеев, Н.А.Лалина // Universum: Технические науки: электрон. научн. журн. 2015. № 2 (15) URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/1958>

#### REFERENCES:

1. Belov A.A. Sglazhivanie vremennykh riadov na osnove veivlet-preobrazovaniia v sistemah avtomatizirovannogo ekologicheskogo monitoringa / A.A. Belov, A.Iu.Proskuriakov. // Metody i ustroistva peredachi informatsii. – 2010. – Vyp.12. – S.21–24.
2. Alekseev K.A. Teoriia i praktika shumopodavleniia v zadache obrabotki seismoakusticheskikh signalov. <http://matlab.exponenta.ru/wavelet/book5/index.php>
3. Solonyna A., Arbuzov A. Cyfrovaja obrabotka sygnalov. Modelyrovanye v MATLAB (2008), S. – SPb.: BHV. Peterburg, 816.
4. Smolentsev N. Osnovy teorii veivletov. Veivlety v MATLAB. (2005), M.:DMK Press, 304.
5. Moskovskii S.B. Ochistka signala ot шумов s ispol'zovaniem veivlet-preobrazovaniia / S.B.Moskovskii, A.N.Sergeev, N.A.Lalina // Universum: Tehnicheskie nauki: elektron. nauchn. zhurn. 2015. № 2 (15) URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/1958>.

**Рецензент:** д.т.н., проф. Жердєв М.К., Військовий інститут телекомунікації та інформатизації

к.т.н., с.н.с. Жиров Г.Б.

#### МЕТОДЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ В ЗАДАЧАХ ИДЕНТИФИКАЦИИ И ПОДАВЛЕНИЯ ПОМЕХ СИГНАЛОВ УКВ ДИАПАЗОНА

*В статье рассмотрена задача подавления шумовой составляющей полезного сигнала, который передается по радиоканалу УКВ диапазона (VHF), и его дальнейшая идентификация средствами вейвлет анализа. Были экспериментально исследованы классические задачи вейвлет анализа, а именно выбор базовой вейвлет-функции, определение уровня разложения (декомпозиции) сигнала, а также проанализированы задачи выбора алгоритмической процедуры подавления шума, критерия предельного порога и вида трешолдинга.*

*Экспериментальные данные получены методом математического моделирования с использованием пакета MatLab.*

**Ключевые слова:** вейвлет анализ, подавление шума, идентификация сигнала, трешолдинг.

Ph.D. Zhyrov G.B.

#### METHODS OF DIGITAL PROCESSING IN THE PROBLEM OF IDENTIFICATION AND SUPPRESSION NOISE SIGNALS VHF

*In the article the problem of noise suppression component signal, which is transmitted via radio VHF, and its subsequent identification by means of wavelet analysis. Were experimentally studied classical problem of wavelet analysis, namely the choice of basic wavelet function, determine the level of decomposition (decomposition) signal, and analyzes the problem of choice algorithmic procedure suppress noise limit threshold criterion and type thresholding.*

*Experimental data obtained by using mathematical modeling package MatLab.*

**Keywords:** wavelet analysis, noise suppression, identification signal thresholding.