

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Метод фільтрації сигналів із застосуванням вейвлет-перетворень

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи РРм-61
спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Концограда П.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Яськів В.І.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Хвостівська Л.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Дунець В.Л.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Дедів Л.Є.

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра радіотехнічних систем
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Дунець В.Л.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

2021 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

студенту Концоградї Павлу Мирославовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Метод фільтрації сигналів із застосуванням вейвлет-перетворень

Керівник роботи Яськів Володимир Іванович, д.т.н., доц.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «30» листопада 2021 року № 4/7-1019

2. Термін подання студентом завершеної роботи 6 грудня 2021 року

3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання, фільтрації сигналів із застосуванням вейвлет-перетворень

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Фільтрація сигналів. Вейвлет-аналіз. Порівняння вейвлет-перетворення і перетворення Фур'є.

Основи вейвлет-перетворення. Фільтри на основі різних типів вейвлетів. Порівняння вейвлетів різного типу. Фільтрація сигналів в MATLAB.

Охорона праці. Безпека в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях			

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз завдання на кваліфікаційну роботу		
2	Написання розділу 1		
3	Написання розділу 2		
4	Написання розділу 3		
5	Написання розділу 4		
6	Попередній захист		
7	Захист		

Студент _____
(підпис)

Концограда Павло Мирославович _____
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Яськів Володимир Іванович _____
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Метод фільтрації сигналів із застосуванням вейвлет-перетворень // Кваліфікаційна робота магістра // Концограда Павло Мирославович // ТНТУ, ФПТ, група РРм-61 // Тернопіль, 2021.

Ключові слова: ФІЛЬТРАЦІЯ, ВЕЙВЛЕТ, СИГНАЛ.

В кваліфікаційній роботі магістра розглянуто метод фільтрації сигналів із застосуванням вейвлет-перетворень. Проаналізовано задачу фільтрації сигналів, зокрема на основі Фур'є- та вейвлет-аналізу і встановлено, що перший випадок має значні обмеження, зокрема необхідність відсутності розривів у сигналах, використання нескінченних базисних сигналів тощо. Ці недоліки відсутні в другому випадку. Проаналізовано особливості вейвлет-перетворення, типи вейвлетів та їхні обмеження для задачі фільтрації. Проведено фільтрацію тестового сигналу різними вейвлетами та показано переваги та недоліки їх.

ANNOTATION

Signal filtering method using wavelet transforms // Master's qualification work // Kontsohrada P.M. // TNTU, FPT, group RRm-61 // Ternopil, 2021.

Key words: FILTERING, WAVELET, SIGNAL.

In the master's qualification work the method of signal filtering with the use of wavelet transforms is considered. The problem of signal filtering was analyzed, in particular on the basis of Fourier and wavelet analysis, and it was found that the first case has significant limitations, including the need for no discontinuities in the signals, the use of infinite basis signals and more. These shortcomings are absent in the second case. Features of wavelet transform, types of wavelets and their limitations for the filtering problem are analyzed. The test signal was filtered by various wavelets and their advantages and disadvantages were shown.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	9
1.1. Фільтрація сигналів.....	9
1.2. Вейвлет-аналіз.....	15
1.3. Порівняння вейвлет-перетворення і перетворення Фур'є.....	22
1.4. Основи вейвлет-перетворення.....	25
1.5. Висновки до розділу 1.....	27
РОЗДІЛ 2. ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	28
2.1 Фільтри на основі різних типів вейвлетів.....	28
2.2. Порівняння вейвлетів різного типу.....	39
2.3. Висновки до розділу 2.....	42
РОЗДІЛ 3. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	43
3.1. Фільтрація сигналів в MATLAB.....	43
3.2. Висновки до розділу 3.....	49
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	50
4.1 Охорона праці.....	50
4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	51
4.3 Висновки до розділу 3.....	58
ВИСНОВКИ.....	59
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	61
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Актуальність роботи. Цифрова фільтрація є особливо актуальною сьогодні в області розроблення нових чи покращення існуючих комунікаційних технологій для підвищення якості прийому повідомлень, що передаються. Класично для вирішення питань фільтрації сьогодні використовуються підходи, які використовують перетворення Фур'є. Залежно від вимог до прийому інформаційних повідомлень і спектрального складу сигналу і шуму можуть використовуватися також смугові або режекторні фільтри. Однак такий метод має ряд обмежень, що зменшує його застосування, зокрема такі фільтри не усувають ефективно ізольовані ознаки сигналу. Оскільки таке перетворення працює з нескінченними коливними гармонічними функціями, інформація про ізольовані особливості сигналу міститься в коефіцієнтах перетворення. Таким чином стає практично неможливим видалення усіх завад. Частково ці проблеми можна вирішити за допомогою віконного ПФ, що дає можливість обмежитися діапазоном, що відповідає вибраному часовому вікню. Однак при розгляді широкосмугових процесів вікно, фіксоване за часом, не забезпечує дійсно локалізований аналіз сигналу, а виправлення ізольованої ознаки призведе до спотворення сигналу в частині його околу.

Перспективною є теорія вейвлет-аналізу. Термін «вейвлет» у перекладі з англійської означає «мала хвиля», та є спільною назвою локальних за часом і частотою сімейств математичних функцій певного виду, в яких усі функції отримуються з однієї основної (генеруючої) функції шляхом її зсуву та розтягування вздовж часової осі.

В роботі проводиться розроблення та аналіз методу фільтрації сигналів із застосуванням вейвлет-перетворень.

Мета і завдання дослідження. Розроблення та аналіз методу фільтрації сигналів із застосуванням вейвлет-перетворень. Задачі:

- аналіз стану проблеми;
- аналіз методів фільтрації сигналів;
- аналіз можливості застосування вейвлетів для фільтрації сигналів;
- проведення моделювання процесу вейвлет-фільтрації сигналів.

Об'єкт дослідження: процес фільтрації сигналів із застосуванням вейвлет-перетворень.

Предмет дослідження: метод фільтрації сигналів із застосуванням вейвлет-перетворень.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблення систем швидкої фільтрації сигналів в аудіосистемах.

Наукова новизна. Проведено моделювання фільтрації мовних сигналів та показано переваги використання вейвлетів Добеші в порівнянні з іншими.

Апробація результатів дослідження. Участь в ІХ науково-технічній конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» (м. Тернопіль, 2021 р.).

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Фільтрація сигналів

Цифрова фільтрація є особливо актуальною сьогодні в області розроблення нових чи покращення існуючих комунікаційних технологій для підвищення якості прийому повідомлень, що передаються. Класично для вирішення питань фільтрації сьогодні використовуються підходи, які використовують перетворення Фур'є. Залежно від вимог до прийому інформаційних повідомлень і спектрального складу сигналу і шуму можуть використовуватися також смугові або режекторні фільтри. Однак такий метод має ряд обмежень, що зменшує його застосування, зокрема такі фільтри не усувають ефективно ізольовані ознаки сигналу. Оскільки таке перетворення працює з нескінченними коливними гармонічними функціями, інформація про ізольовані особливості сигналу міститься в коефіцієнтах перетворення. Таким чином стає практично неможливим видалення усіх завад. Частково ці проблеми можна вирішити за допомогою віконного ПФ, що дає можливість обмежитися діапазоном, що відповідає вибраному часовому вікню. Однак при розгляді широкосмугових процесів вікно, фіксоване за часом, не забезпечує дійсно локалізований аналіз сигналу, а виправлення ізольованої ознаки призведе до спотворення сигналу в частині його околу.

Перспективною є теорія вейвлет-аналізу, що є своєрідною революцією в проблемах цифрової обробки сигналів. З 1980-х років теорія вейвлетів стала найбільш динамічно розвиваючоюся науковою концепцією, яка знайшла практично повсемісні численні застосування.

У наукових дослідженнях, зосереджених на аналізі частотно-часової динаміки складних процесів і систем, часто використовується безперервне

вейвлет-перетворення (CWT) з використанням аналітичних базових функцій, побудованих, наприклад, шляхом диференціювання функції Гауса або модульованих функцією Гауса. Такі вейвлети можна розглядати як варіанти віконних функцій класичного спектрального аналізу з тією принциповою відмінністю, що розмір часово-частотного вікна не є постійним, а підганяється до аналізованого масштабу часу. В результаті в різних масштабах вейвлет має властивість самоподібності - він має однакову кількість коливань, що представляє собою перемасштабований і зміщений аналог вихідної функції - "батьківський" вейвлет. Залежно від цілей дослідження ця функція може бути реальною або комплексною. У першому випадку можна проаналізувати, зокрема, фрактальні властивості складних процесів, а в другому — ввести знайомі для радіофізики характеристики, такі як миттєва амплітуда та миттєва частота коливань для вивчення ефектів регулювання ритмічних процесів, амплітудно-частотної модуляції тощо. З цієї причини, з точки зору радіофізики, використання CWT видається більш наочним та інформативним варіантом вейвлет-перетворення. Однак цей варіант має суттєві недоліки - він зайвий, і багато коефіцієнтів розкладання у вейвлет-функціях містять інформацію, яка дублюється в інших коефіцієнтах. Така надмірність не завжди є недоліком, але призводить до значного збільшення часу обчислень через відсутність ефективних алгоритмів швидкого обчислення CWT. Швидкість розрахунку прямого (і особливо зворотного) CWT значно обмежує можливості обробки сигналу в реальному часі. Для вирішення проблем кодування та передачі інформації ці обмеження є фундаментальними, внаслідок чого в технічних додатках використовуються алгоритми дискретного вейвлет-перетворення (DWT), які є значно швидшими. Можна провести аналогію між DWT і швидким перетворенням Фур'є, але при цьому слід враховувати, що підходи, засновані на DWT і CWT, мають глибокі відмінності, які не обмежуються дискретизацією формул і побудовою алгоритмів швидкого розкладання сигналу на основі вейвлет-функцій. Наприклад, ці підходи

використовують різні принципи побудови баз. У випадку SWT базисні функції мають аналітичну форму запису і не є ортонормованими, тоді як при реалізації DWT бази не мають аналітичного виразу, а вейвлети задаються у вигляді таблиць значень коефіцієнтів фільтра. У рамках «класичного» DWT накладається вимога ортонормування баз, яку можна усунути для додатків, пов'язаних із передачею інформації, де надмірність перетворення важлива для запобігання помилкам при відновленні сигналу після фільтрації. На відміну від SWT, випадок DWT дозволяє реалізувати підхід багатомасштабного аналізу, який передбачає апроксимацію сигналу на різних рівнях роздільної здатності (за допомогою так званих функцій масштабування) і подальшу деталізацію за допомогою вейвлетів.

Використання одновимірного дискретного вейвлет-перетворення є перспективним способом вейвлет-фільтрування, що детально вивчений і широко використовується в найрізноманітніших сферах. На практиці цей метод використовується в рамках алгоритмів багатомасштабного аналізу, які забезпечують швидке (пірамідальне) розкладання сигналу за допомогою високочастотних і низькочастотних квадратурних дзеркальних фільтрів. Використання фільтра нижніх частот дає можливість апроксимувати (згладжувати) сигнал, а використання взаємопов'язаного фільтра високих частот дає можливість вивчати відхилення від цього наближення. Особливістю багатомасштабного аналізу є те, що апроксимація та подальше вивчення деталізації сигналу здійснюються на різних рівнях роздільної здатності, для яких розглядаються послідовні апроксимуючі простори, масштабовані та інваріантні щодо зміщень цілими різновидами одного центрального функціоналу.

Використання DWT є перспективнішим порівняно з перетворенням Фур'є в задачах обробки сигналів завдяки можливості ефективного усунення локалізованого шуму.

DWT, який зазвичай використовується в багатомасштабному аналізі, розкладає сигнал або зображення на компоненти, які належать до різних

розмірів спостереження. Перейшовши простору вейвлет-коефіцієнтів пов'язані з малими масштабами коефіцієнти коригуються, де вплив шуму найбільше позначається. Відповідна корекція може здійснюватися на різних рівнях роздільної здатності, а подальше відновлення сигналу під час зворотного DWT дозволяє очистити його від фонового шуму. Традиційно використовується обнулення частини коефіцієнтів вейвлет-перетворення, і ця методика використовується не тільки в задачах фільтрації, а й для стиснення даних. Таким чином, формат подання зображень використовує DWT з ортонормованими базами та обнуленням малих (найменш інформативних) вейвлет-коефіцієнтів. При аналізі зображень із шумом це забезпечує одночасну фільтрацію шуму та зменшення розміру зображення.

Зауважимо, що при вирішенні задач такого роду спосіб, що полягає в заміні нулями окремих вейвлет-коефіцієнтів є незавжди ефективним, що призведе до спотворення отриманих даних. Відомими є варіанти різноманітної корекції вейвлет-коефіцієнтів, включаючи методи «жорсткого» та «м'якого» встановлення порогової функції для таких коефіцієнтів. При жорсткій версії виконується встановлення порогу та часткове прирівнювання до нуля таких коефіцієнтів розширення, які не перевищують порогове значення в абсолютному значенні. При цьому вважається, що малі коефіцієнти характеризують перешкоди, а великі - інформаційний сигнал. На практиці такий поділ коефіцієнтів не є однозначним, і серед малих зустрічаються також коефіцієнти, що відображають різні деталі інформаційного сигналу. Встановлення їх на нуль призводить до різних спотворення. Основним недоліком жорсткого варіанту встановлення порогової функції є наявність розривів. При цьому великі коефіцієнти не змінюються.

Випадок м'якого параметра налаштування не призводить до розривів, однак потребує провести корекцію всіх коефіцієнтів (різною мірою). Однак це не є критично для значної кількості прикладних задач - аудіосигнал, що пройшов процедуру вейвлет-фільтрації, може бути

підсилений до необхідного рівня гучності, яскравість і контраст відеосигналу також можна регулювати відповідно з необхідними вимогами. Таким чином покращення якості фільтрування сигналу від перешкод є важливішою обставиною, ніж підтримання постійної амплітуди сигналу.

Розглянутий варіант очищення з використанням ДВП широко використовується на практиці. Однак він також має ряд недоліків, і подальші дослідження були спрямовані на вдосконалення техніки цифрової фільтрації та підвищення якості фільтрації даних. До основних недоліків методу DWT можна віднести коливання вейвлет-коефіцієнтів в околицях сингулярностей, які ускладнюють обробку сигналу, відсутність інваріантності щодо зсуву, що призводить до непередбачуваних змін шаблонів вейвлет-коефіцієнтів при зміщенні сингулярностей, а також поява артефактів у відновленому сигналі після корекції вейвлет-коефіцієнтів. Крім того, у двовимірному варіанті DWT виникає проблема втрати спрямованої селективності, що ускладнює аналіз різних структур двовимірних зображень. Крім того, підходи, засновані на стандартних алгоритмах DWT, не дозволяють отримати інформацію про фазові відношення, що необхідно при розв'язанні низки практичних завдань, наприклад, при розв'язанні задач на взаємодію автоколивальних систем. Для усунення цих недоліків був запропонований і згодом удосконалений метод комплексного вейвлет-перетворення подвійного дерева. Основна ідея цього підходу — доповнити реальні функції масштабування та вейвлети уявними частинами, отриманими за допомогою перетворення Гільберта, що призводить до складних (аналітичних) низькочастотних і високочастотних дзеркальних фільтрів. Цей підхід має наближену інваріантність зсуву та оперує складними (аналітичними) вейвлетами, побудованими на основі реальних вейвлет-функцій. Метод DCVT передбачає незалежне обчислення двох DWT, в результаті чого визначають дійсну та уявну частини вейвлет-коефіцієнтів. Метод зберігає

всі переваги DWT (наприклад, можливість швидкої реалізації алгоритму), але додатково дозволяє оперувати амплітудами і часовими параметрами вейвлет-коефіцієнтів. Щоб задовольнити вимогу аналітичних базисних функцій у рамках DCVT, використовуються спеціальні методи побудови базисів [64]. Зокрема, вейвлети Добеші та ряд інших функцій, які використовуються в багатомасштабному аналізі, для цих цілей непридатні.

Класичний варіант DWT і метод DCWT працюють з ортонормованими базами, і, отже, вейвлетове розширення з використанням цих підходів не є зайвим. У літературі зазвичай використовується термінологія «критичної вибірки», що означає, що будь-яке її зменшення призведе до необоротної втрати інформації. В результаті особливо важливо точно виправити вейвлет-коефіцієнти під час фільтрації, оскільки помилкове видалення необхідних коефіцієнтів неминуче призведе до спотворення відновленого сигналу.

Цих труднощів можна уникнути, якщо відмовитися від критичної вибірки і розглянути надмірні розклади сигналів в основі вейвлет-функцій. У випадку дискретних вейвлетів стосовно неортонормованих (надлишкових) баз використовується термінологія фреймів. З одного боку, кадри мають на увазі використання більшої кількості коефіцієнтів розширення та збільшення часу обчислень, що є недоліком таких баз при здійсненні цифрової обробки сигналу в реальному часі. З іншого боку, це збільшення часу може бути не принциповим, дозволяючи обробляти інформаційні повідомлення в режимі онлайн. Натомість стає можливим зберегти необхідну інформацію про сигнал у разі видалення частини «потрібних» вейвлет-коефіцієнтів або у випадку, коли пряме розкладання здійснюється з недостатньо високою точністю (через надмірність, точність відновлений сигнал залишиться високим). Ці обставини є причиною використання фреймів у програмах, пов'язаних з передачею та кодуванням інформації, де вони використовуються досить активно. Більше того,

враховуючи переваги різних методів вейвлет-фільтрації, в даний час велика увага приділяється створенню комбінованих алгоритмів очищення інформаційних повідомлень від шуму та випадкових спотворень, використовуючи, наприклад, кадри та подвійне комплексне вейвлет-перетворення. В останні роки були запропоновані дуже перспективні розробки, такі як метод CVDT. Алгоритмічно ці методи досить складні, фактично представляють якісно новий рівень у задачах цифрової фільтрації.

Зауважимо, що, незважаючи на розвиток методів цифрової фільтрації з використанням вейвлет-перетворення, у практичному застосуванні цих методів залишається багато відкритих питань, а вибір конкретного методу фільтрації залишається нетривіальним завданням, яке значною мірою залежить від аналізованого сигналу та від цілей, яких необхідно досягти під час цифрової обробки експериментальних даних. У зв'язку з цим порівняльний аналіз різних методів фільтрації залишається актуальним для вибору підходу, який дозволяє мінімізувати спотворення, які вносяться під час реконструкції сигналу або зображення за допомогою вейвлет-коефіцієнтів.

1.2 Вейвлет-аналіз

Термін «вейвлет» у перекладі з англійської означає «мала хвиля», та є спільною назвою локальних за часом і частотою сімейств математичних функцій певного виду, в яких усі функції отримуються з однієї основної (генеруючої) функції шляхом її зсуву та розтягування вздовж часової осі. Вейвлет-перетворення поділяють на безперервні (CWT) і дискретні (DWT).

Припустимо, що функція $f(x)$ визначена на всій дійсній осі $\mathbb{R}(-\infty, \infty)$ і належить простору $L_2(\mathbb{R})$, тобто

$$\int_{-\infty}^{\infty} |f(x)|^2 dx < \infty$$

Безперервним вейвлет-перетворенням (CWT) функції $f(x) \in L_2(\mathbb{R})$ називають функцію двох змінних:

$$C(a,b) = \langle f(x)\psi(a,b,x) \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)\psi(a,b,x) dx, \\ a,b \in \mathbb{R}, a \neq 0, \quad (1.1)$$

Де вейвлети $\psi(a,b,x) \equiv \psi_{ab}(x)$ - масштабовані та зрушені копії породжуваного вейвлета $\psi(x) \in L_2(\mathbb{R})$, сукупність яких створює новий базис простору $L_2(\mathbb{R})$. Вейвлет-функція $\psi(x)$ має нульове значення інтеграла

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi(x) dx = 0 \quad (1.2)$$

і Фур'є-образ, що позначається як $\Psi(\omega)$.

Породжувальними функціями можуть бути обмежені за часом і місцезнаходженням на часовій осі функції, чий спектральний образ певною мірою локалізований на частотній осі. Так же як у випадку перетворення Фур'є, базис простору $L_2(\mathbb{R})$ доцільно конструювати з однієї породжувальної функції, норма якої має дорівнювати 1. Для покриття локальною функцією вейвлета всієї часової осі проводиться зсув по часовій осі: $\psi(b,x) \equiv \psi(x-b)$. Також застосовується процедура часового

масштабування вейвлета та змінної: $\psi(a, x) = |a|^{-1/2} \psi\left(\frac{x}{a}\right)$. В такий спосіб, переміщенням за незалежною змінною $(x-b)$ вейвлет може переміщатися вздовж осі сигналу.

Норми $\psi(a, b, x)$ відповідають нормі $\psi(x)$, завдяки нормувальному множнику $|a|^{-1/2}$.

На рис. 1.1 показані графіки МНАТ-вейвлета при різних значеннях параметрів масштабу a і параметри зсуву. Суцільна крива (номер 1) відповідає $a = 1$, точкова крива (номер 2) - $a = 2$. Видно, що малі значення масштабу a "стискають" вейвлет-функцію (частотний діапазон її Фур'є-образу розширюється (див. рис. 1.1 б)), великі значення параметра - "розширюють" вейвлет-функцію (частотний діапазон стискається).

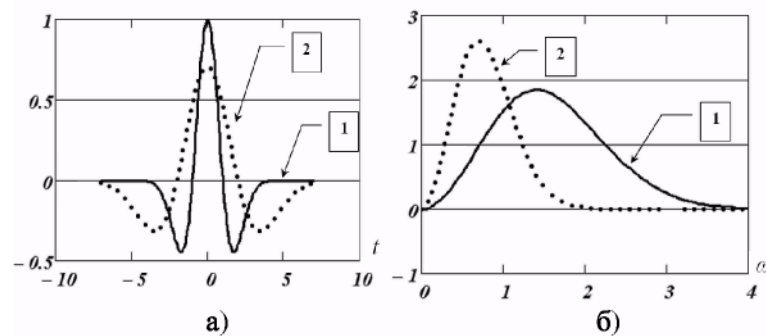


Рис. 1.1. Вейвлети та їх образи

Повернімося до безперервного вейвлет-перетворення (1.1). Функція $C(a, b)$ несе інформацію про частотно-часову структуру функції $f(x)$. Дійсно, задаючи малі значення масштабу a , отримуємо інформацію про особливості сигналу $f(x)$, які мають малу протяжність, великі значення дозволяють виявити «глобальну» інформацію про сигнал (яка розподілена по всьому сигналу). Ця закономірність добре ілюструється рис. 1.2. Цю закономірність можна назвати ставленням невизначеності для вейвлет-функцій, а саме: гарний дозвіл за частотою, обумовлює поганий дозвіл у часі (велика ширина вейвлет-функції) і навпаки.

Чисто гармонійним сигналам (функції $\cos(\omega x)$, $\sin(\omega x)$) відповідають яскраві горизонтальні смуги, де модуль коефіцієнта $C(a, b)$ великий. Локальні особливості (порушення гладкості сигналу) визначають вертикальні смуги. Що різкіше проявляється властивість сигналу, то краще вона відбивається у функції $C(a, b)$ і тим вище значення цієї функції. Вейвлет-спектр $C(a, b)$ виразно виділяє тонкі особливості сигналу, такі як невеликі розриви, зміна знаків першої та другої похідних, зміна частоти складових сигналу у часі тощо.

Проведені міркування дозволяють говорити про новий спосіб вивчення сигналів, а саме - вейвлет-аналіз, заснований на вивченні особливостей вейвлет-спектру $C(a, b)$.

При практичному використанні безперервного вейвлет-перетворення необхідно враховувати:

- для вейвлетів з компактним носієм немає необхідності обчислювати інтеграли з нескінченними межами, так як діапазон зміни зсуву обмежений;
- для графічного аналізу вейвлет-спектру $C(a, b)$ або його табличного представлення значення параметрів перетворення a , b задаються дискретно (найчастіше за законом арифметичної прогресії).

Зворотне безперервне ВП

Точність ЗВП визначається заданням базового вейвлета. Теоретично строгого вейвлет може вважатися базовою функцією $L_2(R)$ лише у разі його ортонормованості. Для ортонормованих вейвлетів ЗВП матиме вигляд:

$$f(x) = (1/C_\psi) \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (1/a^2) C(a, b) \psi(a, b, x) da db, \quad (1.3)$$

де C_ψ - нормалізуючий коефіцієнт, що визначається виразом

$$C_{\psi} = 2\pi \int_{-\infty}^{\infty} (|\Psi(\omega)|^2 / \omega) d\omega < \infty, \quad (1.4)$$

де $\Psi(\omega)$ - Фур'є-образ $\psi(t)$

Умова кінечності C_{ψ} обмежує можливість застосування в якості вейвлетів певних функцій. Зокрема, при $\omega=0$ для забезпечення збіжності інтеграла (1.3) $\Psi(\omega)$ має бути рівною 0. Отже, функція $\psi(x)$ має відповідати вимозі рівності 0 середнього значення:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi(x) dx = 0. \quad (1.5)$$

Таким чином не усі сигнали можна відновити вейвлетом $\psi(x)$, оскільки при першому нульовому значенні коефіцієнт у виразі (1.4) також буде рівним 0.

Виникає питання: чи можна вейвлет-перетворення використовувати для фільтрації зашумлених сигналів? У принципі відповідь це питання позитивна, але практично виникають певні труднощі. Дійсно, шум виміру має широкий спектр і визначає значення $C(a,b)$ за малих величин параметра a . Тому, помножуючи $C(a,b)$ на деякий фільтруючий множник $W(a)$, який за малих a менше 1, а потім, взявши зворотне вейвлет-перетворення (1.4), можна зменшити рівень шуму. Однак виникають труднощі:

визначення оптимального фільтруючого множника, який мінімізував би помилку фільтрації;

побудова ефективної обчислювальної процедури для перетворень (1.1), (1.3), оскільки обчислення інтегралів потребує істотних витрат машинного часу.

Тому в даний час безперервне перетворення (1.3) використовується для аналізу сигналів, а фільтрацію зашумлених сигналів здійснюють на основі дискретного вейвлет-перетворення, яке розглядається далі.

Діадне вейвлет-перетворення безперервних сигналів

Раніше зазначалося, що безперервне ВП є громіздким в плані обчислювальної складності та потребує певних ресурсів і обчислює надмірне число коефіцієнтів, яке не потрібно для реконструкції (відновлення) сигналу.

Для подолання цих недоліків слід задавати дискретні значення параметрів наступними співвідношеннями:

$$a = 2^j; b = k2^j, \quad (1.6)$$

де цілі змінні j, k набувають значення з безлічі цілих чисел $Z = \{\dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots\}$, тобто $j, k \in Z$. Подібна дискретизація a , є найбільш поширеною, сітка дискретизації називається діадистичною, а саме вейвлет-перетворення часто називають діадним.

Виділення діадного перетворення на окремий клас виправдано тим, як і безперервне вейвлет-перетворення практично обчислюється також дискретних значень параметрів a, b . Характер їх дискретизації найчастіше визначається арифметичною прогресією з «перекриттям» носіїв вейвлет-функцій. Діадне вейвлет-перетворення виключає подібне «перекриття».

Базисом простору $L_2(\mathbb{R})$ є функції

$$\psi_{j,k} = 2^{-j/2} \psi(2^{-j}x - k), \quad j, k \in Z. \quad (1.7)$$

Тоді пряме ДВП проводить визначення значень коефіцієнтів

$$d_{j,k} = C(j, k) = 2^{-j/2} \int_{-\infty}^{\infty} \psi(2^{-j}x - k) f(x) dx, \quad (1.8)$$

які називатимемо деталізуючими. Зворотне ДВП задається виразом

$$f(x) = \frac{1}{C_\psi} \sum_{j \in \mathbb{Z}} \sum_{k \in \mathbb{Z}} d_{j,k} 2^{-j/2} \psi(2^{-j}x - k). \quad (1.9)$$

Перетворення (1.8), (1.9) означають, що будь-яка функція $f(x) \in L_2(\mathbb{R})$ може бути представлена поруч

$$f = \sum_{j \in \mathbb{Z}} \sum_{k \in \mathbb{Z}} \langle f, \psi_{j,k} \rangle \psi_{j,k} \quad (1.10)$$

за умови, що безліч функцій $\{\psi_{j,k}\}$ утворюють ортонормовану систему.

Доведено, що для ортогональних вейвлетів можливе повне реконструювання сигналу після прямого та зворотного дискретного вейвлет-перетворення лише з використанням додаткової апроксимації за допомогою функції $\varphi(x)$, званої батьківським вейвлетом. При цьому сам вейвлет $\psi(x)$ називають материнським. Далі розглядається представлення будь-якої функції $f(x) \in L_2(\mathbb{R})$ у базисі, утвореному з функцій $\varphi(x)$, $\psi(x)$ за допомогою операцій зсуву та масштабування. Таке уявлення отримало назву кратномасштабного.

Набір вейвлетів, в їх часовому або частотному поданні, наближає сигнал точно чи з невеликою похибкою. Вейвлети мають явні переваги у поданні локальних особливостей функцій проти рядів Фур'є. В області обробки зображень вони дають нові ефективні способи обробки зображень, наприклад, видалення шуму і стиснення файлів, що зберігають зображення.

Завдяки чудовому уявленню локальних особливостей сигналів, що принципово відсутні у рядів Фур'є, вейвлети використовуються для стиснення та очищення від шуму сигналів та зображень. Вейвлет-перетворення вважаються

перспективними для передачі стиснутих зображень каналами Інтернету з обмеженою пропускнуою здатністю. Вони вже покладені в основу новітньої техніки стиснення відеоінформації за масовим та популярним стандартом запису відеофільмів на компакт-диск.

1.3 Порівняння вейвлет-перетворення і перетворення Фур'є

ВП для розуміння значно складніше, ніж перетворення Фур'є. Тому для практичного застосування вейвлетів важливо чітко зрозуміти різницю між цими перетвореннями.

В основі представлення періодичного сигналу $y(t)$ рядом Фур'є лежить співвідношення:

$$y(t) = \sum_{n=0}^N c_n e^{im}, \quad (1.11)$$

де i - уявна одиниця. Функція $y(t)$ є сумою добутків синусоїд, представлених членом e^{im} , на коефіцієнти Фур'є c_n . Вони обчислюються як:

$$c_n = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} y(t) e^{-im} dt.$$

Коефіцієнти Фур'є – комплексні числа. Вони представляють набір (спектр) гармонійних сигналів, які називаються гармоніками. Число n – номер гармоніки (0,1,2,...). Теоретично ряд Фур'є має нескінченну кількість членів (гармонік), але на практиці вона завжди кінцева і дорівнює N . Тому ряд (1.11) записується як наближений. Гармоніки, що являють собою синусоїди з різною частотою, кратною частоті першої гармоніки, і різною фазою, утворюються множенням $c_n e^{im}$. Крім алгебраїчного виду ряду (1.11) його можна тривіально уявити в тригонометричній формі.

У загальному випадку при довільній (у тому числі неперіодичній) залежності $y(t)$ пряме перетворення Фур'є означає перехід від часового подання сигналу до його частотного подання відповідно до узагальненого виразу:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} y(t)e^{-i\omega t} dt.$$

Наявність розривів сигналу важко проявляється в Фур'є-спектрі, утворюючи безліч вищих гармонік дуже малої амплітуди. Виявити такі розриви, їх місце та характер, практично неможливою

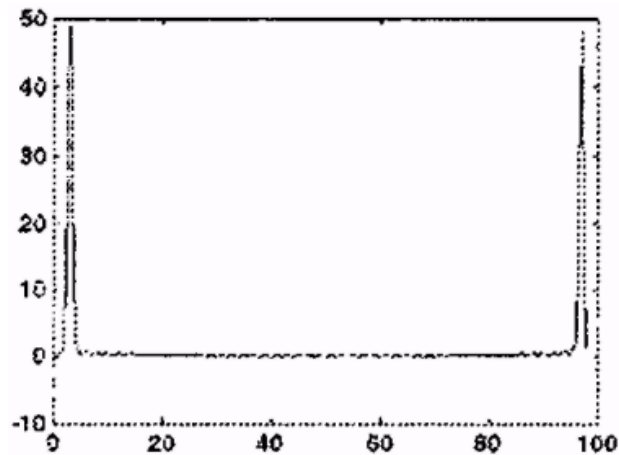


Рис. 1.2. Типовий вид спектру синусоїдального сигналу з невеликим розривом при переході через нуль

Для подолання обчислювальних труднощів, пов'язаних з інтегруванням швидкозмінних функцій у ході ППФ та ЗПФ, були запропоновані методи ШПФ, або, в англійській транскрипції, FFT). Вони не зменшують похибки обчислень при заданому числі гармонік, але дозволяють різко зменшити час спектрального аналізу та синтезу — особливо, якщо число часових відліків $y(t)$ кратно 2^N , де N — ціле число.

В основі ШПФ лежить прорідження за частотою і пірамідальний алгоритм, що виключає повторні обчислення членів тригонометричного ряду Фур'є. ШПФ-алгоритм виконується за $N \log N$ операцій, де N -число відліків сигналу. У MATLAB пряме ШПФ виконується функцією `fft`, а зворотне ШПФ — функцією `ifft`.

Проблеми спектрального аналізу дещо розв'язуються переходом до короткочасного, або віконного, перетворення Фур'є. Воно виконується з використанням виразу:

$$A(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} y(t) \cdot w(t-b) e^{-i\omega t} dt.$$

Тут, на відміну від інтеграла Фур'є, функція $y(t)$ під знаком інтеграла додатково множиться на віконну функцію $w(t-b)$. Параметр b вікна визначає його зсув на часовій осі. Зазвичай визначається ряд фіксованих значень b в межах повного вікна. Наприклад, для найпростішого прямокутного вікна функція $w(t-b)$ в межах вікна дає 1, а за межами вікна перегляду — 0. При цьому для кожного вікна ми отримуємо свій набір комплексних амплітуд сигналу в частотній області.

Сказане пояснює рис. 1.3. Вікно, показане на часовій залежності сигналу (ліворуч), переміщається стрибками і за кілька таких переміщень дозволяє «переглянути» весь сигнал. У кожному вікні виконується своє спектральне розкладання, так що замість присутньої однієї спектрограми ми тепер отримуємо набір спектрограм, схематично показаний у правій частині рис. 1.3 як прямокутників.

Звичайно, оскільки кожне вікно охоплює невелику ділянку за часом, точність опису локальних змін сигналу може бути підвищена. Часто використовуються вікна Гауса або інші вікна для зниження рівня спотворень спектра, що виникають через граничні явища та зменшують прояв ефекту Гіббса.



Рис. 1.3. Ілюстрація техніки віконного перетворення Фур'є

Застосування вікон дозволяє перейти до частотно-часового представлення сигналів. Це реалізовано в спектрограмах пакета Signal Processing Toolbox. Тим не менш, віконне перетворення Фур'є не набуло широкого поширення, оскільки, будучи більш складним, ніж звичайне перетворення Фур'є, не позбавлене його важливих недоліків, оскільки базова функція спектрального розкладання залишається синусоїдою. Крім того, вікна в цьому перетворенні мають фіксовані розміри, і їх важко пристосувати під коректування уявлення локальних властивостей сигналу.

1.4 Основи вейвлет-перетворення

Останнім часом намітилася тенденція до використання широкосмугових імпульсних та цифрових сигналів (локація прямокутними імпульсами, відеозасоби комп'ютерів тощо). Загальноприйнятим підходом до аналізу таких сигналів $s(t)$ є їхнє уявлення у вигляді виваженої суми базисних функцій $\psi_k(t)$ які помножуються на C_k :

$$s(t) = \sum_k C_k \psi_k(t). \quad (1.12)$$

помножених на коефіцієнти C_k зафіксовані як функції певного типу, C_k влючають дані про сигнал.

Термін "вейвлет", введений вперше Морлетом (J. Morlet), у перекладі з англійської wavelet означає "коротка хвиля". Вейвлети знаходяться десь по середині між синусоїдою та імпульсною функцією та утворюють деякий набір функцій, що задовольняють сформульованим далі умовам і засновані на використанні подання сигналу у вигляді (1.11).

Слід відразу зазначити, що поки що немає вичерпно повних і точних теоретичних критеріїв, за якими ті чи інші базові функції можна однозначно віднести до вейвлетів.

Базовими функціями є різні функції, зокрема імпульсно-модульовані синусоїди.

Вейвлети характеризуються своїм часовим та частотним образами – рис. 1.4. Часовий образ задається функцією $\psi(t)$. Частотний образ задається її Фур'є-образом $\hat{\psi}(\omega)$, що описує загальний спектр вейвлета.

Навіть інтуїтивно ясно, що сукупність хвильових пакетів, що нагадують модульовану імпульсами синусоїду або подібних до наведеного на рис. 1.4 вейвлета, здатна добре відображати локальні зміни сигналів - рис. 1.5. Однак питання про уявлення довільного сигналу в довільно заданому проміжку часу залишається відкритим.

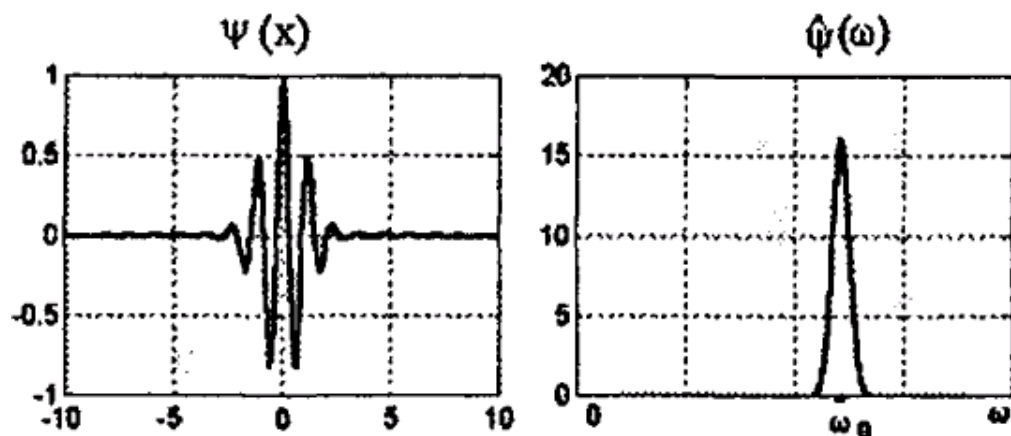


Рис. 1.4. Часовий та частотний образи вейвлета

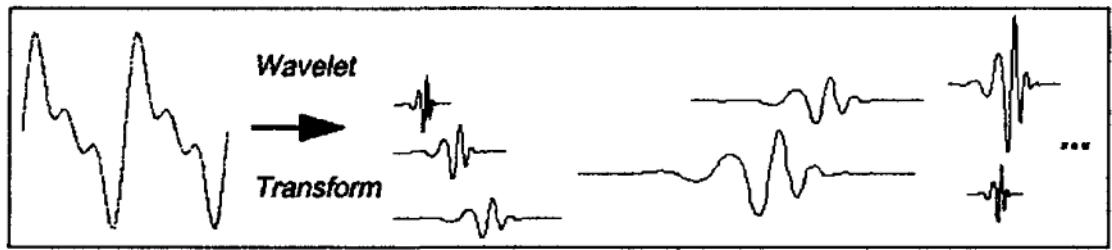


Рис. 1.5. Ілюстрація вейвлет-синтезу сигналу

1.5 Висновки до розділу 1

Цифрова фільтрація є особливо актуальною сьогодні в області розроблення нових чи покращення існуючих комунікаційних технологій для підвищення якості прийому повідомлень, що передаються. Класично для вирішення питань фільтрації сьогодні використовуються підходи, які використовують перетворення Фур'є. Однак такий метод має ряд обмежень, що зменшує його застосування, зокрема такі фільтри не усувають ефективно ізольовані ознаки сигналу.

Перспективною є теорія вейвлет-аналізу. Термін «вейвлет» у перекладі з англійської означає «мала хвиля», та є спільною назвою локальних за часом і частотою сімейств математичних функцій певного виду, в яких усі функції отримуються з однієї основної (генеруючої) функції шляхом її зсуву та розтягування вздовж часової осі.

Проведено порівняння вейвлет-перетворення і перетворення Фур'є та встановлено переваги першого.

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Фільтри на основі різних типів вейвлетів

Множина фільтрів біортогонального вейвлета - `biorfilt`

Зазвичай декомпозиція сигналу при вейвлет-перетворенні типу фільтрації полягає у фільтрації сигналу двома фільтрами - низькочастотним L_0 і високочастотним H_1 . Кожен з фільтрів представляє пару наборів коефіцієнтів різного рівня - апроксимуючих коефіцієнтів R , що грубо представляють сигнал, і деталізуючих коефіцієнтів D . Зазначені вище функції і служать для створення цих наборів коефіцієнтів.

Функція

$$[Lo_D, Hi_D, Lo_R, Hi_R] = \text{biorfilt}(DF, RF)$$

повертає чотири фільтри, пов'язані з біортогональним вейвлетом:

- Lo_D - вузькосмуговий фільтр розкладання;
- Hi_D - широкосмуговий фільтр розкладання;
- Lo_R – вузькосмуговий фільтр відновлення;
- Hi_R – широкосмуговий фільтр відновлення.

Інший варіант цієї функції

$$[Lo_D1, Hi_D1, Lo_R1, Hi_R1, Lo_D2, Hi_D2, Lo_R2, Hi_R2] = \text{biorfilt}(DF, RF, '8')$$

повертає вісім фільтрів, перші чотири з яких пов'язані з вейвлет-розкладанням, наступні чотири пов'язані з вейвлет-відновленням.

З теорії фільтрації сигналів добре відомо, коли ті самі фільтри FIR застосувати для розклату та синтезу, то симетричне та точне відновлення неможливе. Винятком є фільтр Хаара. Отже, з біортогональними фільтрами використовуються два вейвлети замість одного:

- один вейвлет $\tilde{\Psi}$ використовується в аналізі, та коефіцієнти сигналу s

наступні: $\tilde{c}_{j,k} = \int s(k) \tilde{\Psi}_{j,k}(x) dx;$

- другий вейвлет Ψ використовується при синтезі: $s = \sum_{j,k} \tilde{c}_{j,k} \Psi_{j,k}.$

Тут і надалі, як у оригіналі, ми використовуємо незалежну змінну x (при переході до часової області $t = x$). Зазначені два вейвлети взаємопов'язані відповідно до виразів:

$$\int \tilde{\Psi}_{j,k}(x) \Psi_{j',k'}(x) dx = 0, \text{ если } j \neq j' \text{ и } k \neq k'$$

і

$$\int \Phi_{0,k}(x) \Phi_{0,k'}(x) dx = 0, \text{ если } k \neq k'.$$

Множина фільтрів ортогонального вейвлета - `orthfilt`

Функція `[Lo_D,Hi_D,Lo_R,Hi_R] = orthfilt(W)` повертає чотири фільтри ортогонального вейвлета, пов'язаних з масштабуючим фільтром W . Вихідні параметри функції задають:

- `Lo_D` - вузькосмуговий фільтр розкладання;
- `Hi_D` - широкосмуговий фільтр розкладання;
- `Lo_R` – вузькосмуговий фільтр відновлення;
- `Hi_R` – широкосмуговий фільтр відновлення.

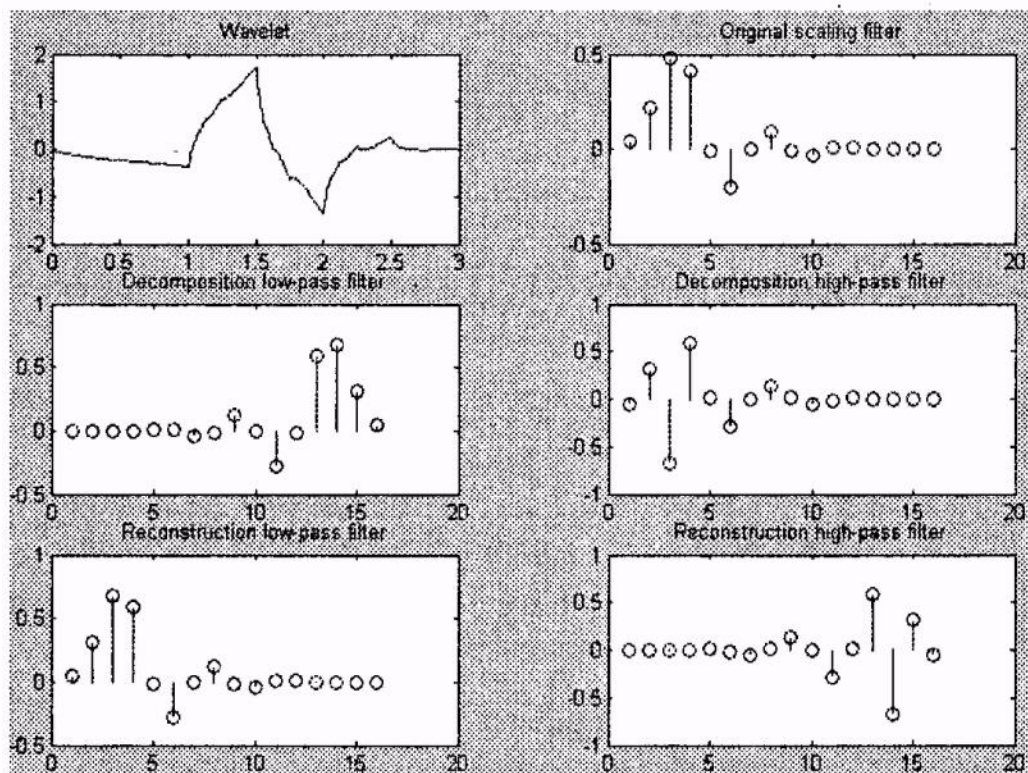


Рис. 2.1. Графіки вейвлета Добеші db8 та коефіцієнтів похідних від нього фільтрів

Схему їх обчислення можна знайти у довідці цієї функції. Для ортогонального вейвлета одне з фундаментальних співвідношень — це співвідношення зі здвоєним масштабом

$$\frac{1}{2}\varphi\left(\frac{x}{2}\right) = \sum_{n \in \mathbb{Z}} w_n \varphi(x-n).$$

Фільтри, що використовуються функціями `dwt` та `idwt`, тісно пов'язані послідовністю $(w_n)_{n \in \mathbb{Z}}$. Якщо φ -функція має компактний носій, то послідовність (w_n) кінцева і може розглядатись як FIR-фільтр.

Наступний приклад командою `load` завантажує вейвлет Добеші db8, буде його графік та графіки коефіцієнтів фільтрів:

```

load db8; w = db8;
subplot(321);plot(xval,psi); title('Wavelet');
subplot(322);stem(w); title('Original scaling filter');
[Lo_D,Hi_D,Lo_R,Hi_R] = orthfilt(w);
subplot(323); stem(Lo_D); title("Decomposition low-pass filter");
subplot(324); stem(Hi_D); title('Decomposition high-pass filter')
subplot(325); stem(Lo_R); title('Reconstruction low-pass filter');
subplot(326); stem(Hi_R); title('Reconstruction high-pass filter');

```

Фільтри ортогональних або біортогональних вейвлетів — `wfilters`

Функція `[Lo_D, Hi_D, Lo_R, Hi_R] = wfilters ('wname')` повертає чотири фільтри, пов'язані з ортогональним або біортогональним вейвлетом, зазначеним у рядку 'wname'. Призначення вихідних параметрів очевидне, оскільки вже описувалося. Розглянемо застосування функції `wfilters` для задання чотирьох типів фільтрів на основі вейвлета Добеші `db8`:

```

[Lo_D,Hi_D,Lo_R,Hi_R] = wfilters('db8');
subplot(221); stem(Lo_D); title('Decomposition low-pass filter');
subplot(222); stem(Hi_D); title('Decomposition high-pass filter');
subplot(223); stem(Lo_R); title('Reconstruction low-pass filter');
subplot(224); stem(Hi_R); title('Reconstruction high-pass filter');
xlabel('The four filters for db8')

```

Подання їх коефіцієнтів як діаграм відліків представлено на рис. 2.2.

Біортогональний сплайновий вейвлет-фільтр - `biorwavf`

Функція `[RF,DF] = biorwavf (W)` повертає два масштабуючі фільтри, що відносяться до ортогонального вейвлета, зазначеного в рядку `W`. Рядок `W` записується у вигляді 'biorNr.Nd'.

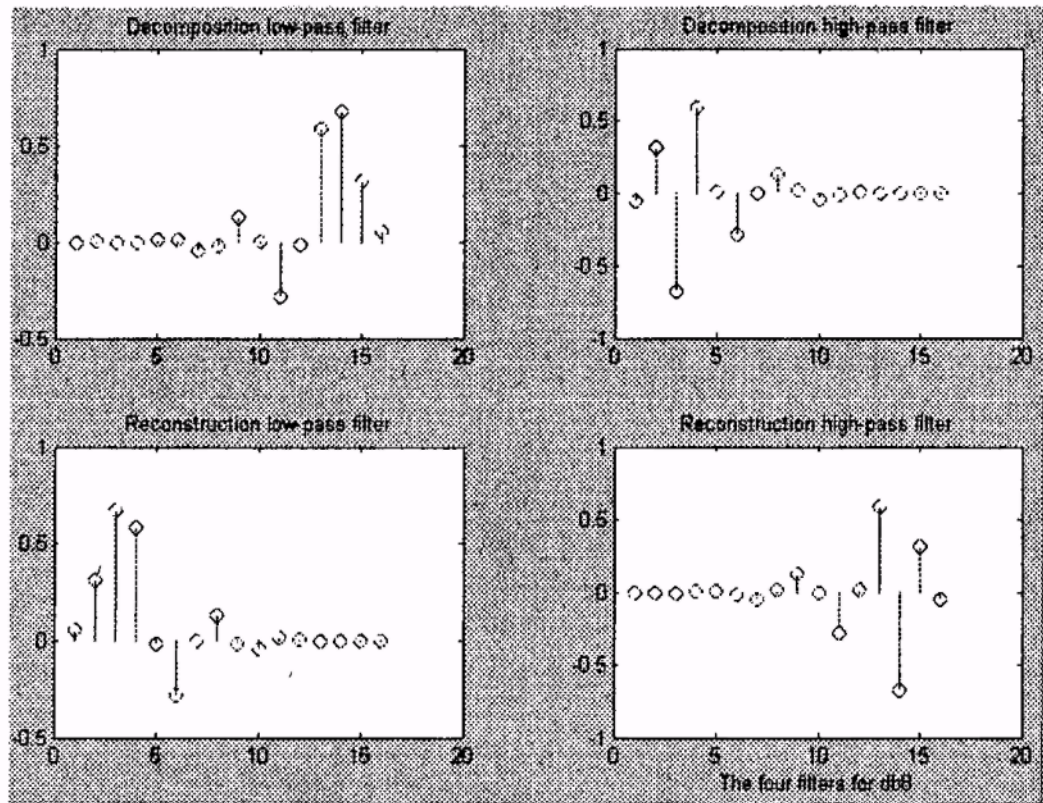


Рис. 2.2. Подання коефіцієнтів фільтра вейвлета db8

Вихідними аргументами є пара фільтрів: RF - фільтр відновлення та DF - фільтр розкладання.

Комплексний Гаусівський вейвлет - `cgauwavf`

Функція `[PSI,X] = cgauwavf(LB,UB,N,P)` повертає значення P-ї похідній комплексної функції Гауса

$$F(x) = C_p e^{-ix} e^{-x^2}$$

в N-й точці сітки на інтервалі [LB,UB]. Тут величина C_p така, що друга норма P-ї похідної функції $F(x)$ прагне 1. Вхідним аргументом є функція PSI, обчислена на сітці X. Наступний приклад буде графіки дійсної та уявної частин комплексного Гаусового вейвлета порядку 5 (рис. 2.3):

```
lb = -5; ub = 5; n = 1000; [psi,x] = cgauwavf(lb,ub,n,5);
subplot(211); plot(x,real(psi)); xlabel('Real part'); grid
subplot(212); plot(x,imag(psi)); xlabel('Imaginary part'); grid
```

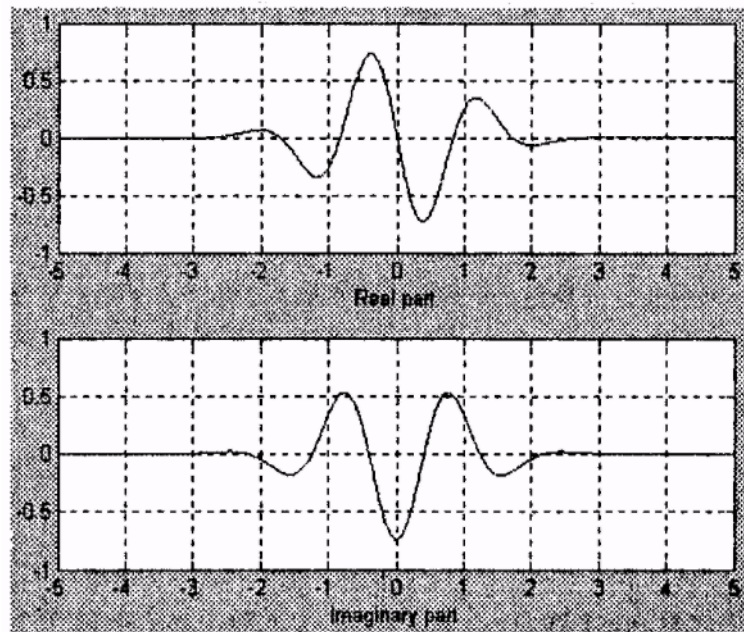



Рис. 2.3. Графіки дійсної та уявної частин для комплексного Гаусовію вейвлета порядку 5

Комплексний вейвлет Морлета.

Функція `[PSI, X]=cmorwavf(LB, UB, N, FB, FC)` повертає значення комплексного вейвлета Морлета, визначеного позитивним параметром ширини смуги частот `FB`, середньою частотою вейвлета `FC` і виразом:

$$\text{PSI}(X) = ((\pi \cdot \text{FB})^{-0.5}) \cdot \exp(2 \cdot i \cdot \pi \cdot \text{FC} \cdot X) \cdot \exp(-X^2 / \text{FB})$$

в `N` точках сітки в межах інтервалу `[LB,UB]`. Вихідним аргументом є функція `PSI`, розрахована по сітці `X`. Наведений нижче приклад будує графіки дійсної та уявної частин комплексного вейвлету Морлета із заданими у першому рядку параметрами (рис. 2.4):

```
fb = 0.75; fc = 1; lb = -4; ub = 4; n = 500;
```

```
[psi,x] = cmorwavf(lb,ub,n,fb,fc);
```

```
subplot(211); plot(x.real(psi)); xlabel('Real part'), grid
```

```
subplot(212); plot(x.imag(psi)); xlabel('Imaginary part'), grid
```

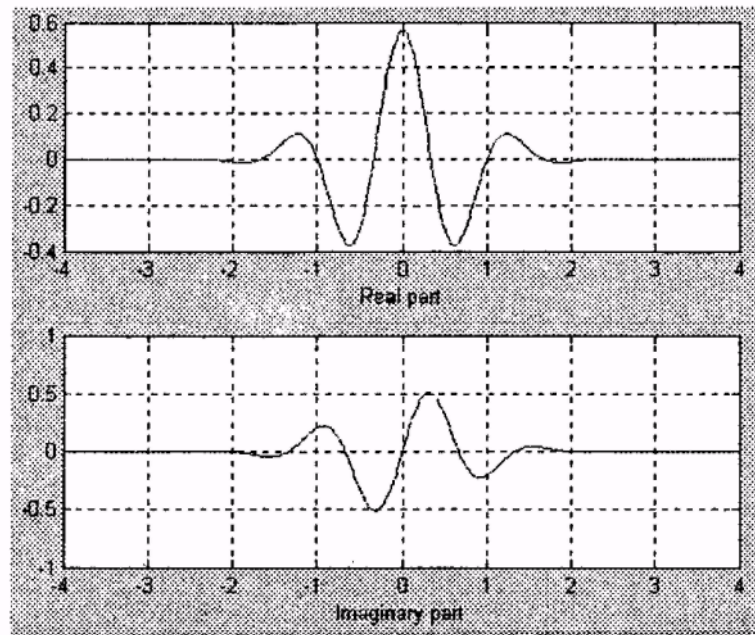


Рис. 2.4. Графіки дійсної та уявної частин комплексного вейвлету Моргана

Вейвлет-фільтр Коіфлета - `coifwavf`

Функція $F = \text{coifwavf}(W)$ повертає масштабуючий фільтр для вейвлету Коіфлета, визначеного рядком W . Рядок W задається як `'coifN'`, де N — ціле число від 1 до 5.

Вейвлет-фільтр Добеші — `dbaux` і `dbwavf`

Вейвлети Добеші – одні з найвідоміших. Функція $W = \text{dbaux}(N, \text{SUM}W)$ — повертає масштабуючий фільтр Добеші порядку N , причому $\text{sum}(W) = \text{SUM}W$. Можливі значення для N - 1, 2, 3...

Обчислення параметра P симетричного фільтра довжиною $(4N - 1)$ і визначеного як

$$P = [a(N) \ 0 \ a(N-1) \ 0 \dots 0 \ a(1) \ 1 \ a(1) \ 0 \ a(2) \ 0 \dots 0 \ a(N)],$$

де

$$a(k) = \frac{\prod_{\substack{i=-N+1 \\ i \neq k}}^N \left(\frac{1}{2} - i \right)}{\prod_{\substack{i=-N+1 \\ i \neq k}}^N (k - i)} \text{ для } k = 1, \dots, N.$$

2. Обчислення квадратного кореня. При цьому якщо W є масштабуючим фільтром Добеші `dbN sum02`, то W - квадратний корінь P : $P = \text{conv}(w_{\text{rev}}(w), w)$, де W - фільтр довжиною $2N$.

Обчислення масштабуючого фільтра Добеші `dbN` вимагає отримання кореня полінома ступеня $4N$. Нестабільність у обчисленнях може виявлятися за дуже великого N .

Функція `F = dbwavf(W)` повертає масштабуючий фільтр, пов'язаний з вейвлетом Добеші, визначеним рядком W , де $W = 'dbN'$ та $N = 1, 2, 3, \dots, 45$.

Частотний В-сплайновий вейвлет — `fbspwavf`

Функція `[PSI,X] = fbspwavf(LB, UB, N, M, FB, FC)` повертає значення комплексної частоти В-сплайнового вейвлета, визначеного порядком M (ціле число $1 \times M$), шириною смуги частот FB , середньою частотою вейвлета FC . Функція `PSI` обчислюється з використанням наступного виразу:

$$PSI(x) = (FB^{0.5}) * ((\text{sinc}(FB * x / M) .^ M) .* \exp(2 * i * \pi * FC * x))$$

в N точках сітки в межах $[LB, UB]$. FB і FC повинні бути Такі, що $FC > FB/2 > 0$. Вихідним аргументом є функція `PSI`, розрахована в межах сітки X .

Гаусовий вейвлет - `gauswavf`

Функція `[PSI,X] = gauswavf(LB,UB,N,P)` повертає значення P -ї похідної функції Гауса

$$F(x) = C_p e^{-x^2}$$

в N точках регулярної сітки для інтервалу $[LB, UB]$. Значення C_p таке, що друга норма P -ї похідної функції F прямує до 1. Побудова графіка (рис. 2.5) Гаусового вейвлета порядку 10 представлена наступним прикладом:

```
lb = -5; ub = 5; n = 1000;
[psi,x] = gauswavf(lb,ub,n,10);
plot(x,psi); grid
```

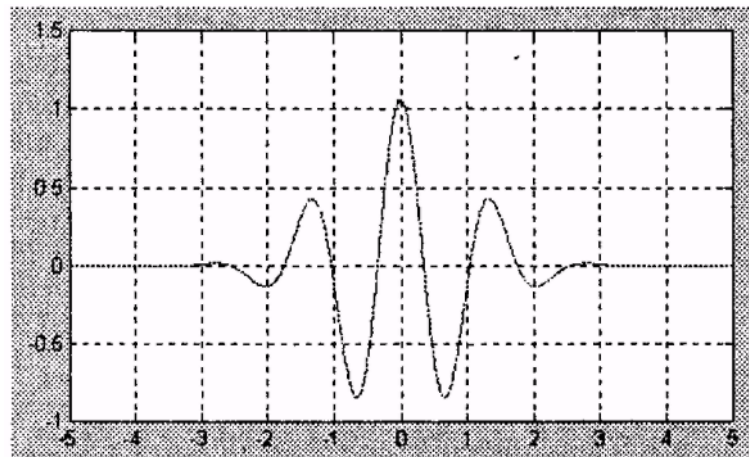


Рис. 2.5. Графік Гаусового вейвлета 10-го порядку

Вейвлет «мексиканський капелюх» - `mexihat`

Функція `[PSI,X] = mexihat(LB,UB,N)` повертає значення вейвлета, відомого під образною назвою «мексиканський капелюх», у N точках сітки X в межах $[LB, UB]$. Вихідними аргументами є функція `PSI`, розрахована в межах X :

$$\psi(x) = \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \pi^{-\frac{1}{4}} \right) (1-x^2) e^{-\frac{x^2}{2}}.$$

Ця функція пропорційна другій похідній Гаусової функції щільності ймовірності. Вигляд цього вейвлета (рис. 2.6) дозволяє спостерігати такий приклад:

`Lb = -6; ub = 6; n = 500;`

`[psi,x] = mexihat(lb,ub,n); plot(x,psi)`

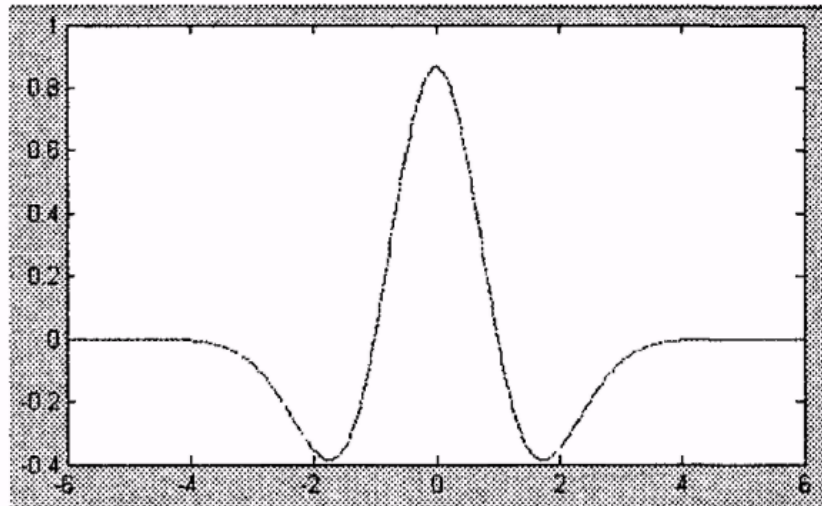


Рис. 2.6. Графік вейвлета «мексиканський капелюх»

Вейвлет-функція Мейєра - meyer та meyegaux

Вейвлет-функції Мейєра наступні:

$$\begin{aligned} \hat{\psi}(\omega) &= (2\pi)^{-\frac{1}{2}} e^{i\omega} \sin\left(\frac{\pi}{2} v\left(\frac{3}{2\pi}|\omega|-1\right)\right) & \frac{2\pi}{3} \leq |\omega| \leq \frac{4\pi}{3}, \\ \hat{\psi}(\omega) &= (2\pi)^{-\frac{1}{2}} e^{i\omega} \cos\left(\frac{\pi}{2} v\left(\frac{3}{4\pi}|\omega|-1\right)\right) & \frac{4\pi}{3} \leq |\omega| \leq \frac{8\pi}{3}, \\ \hat{\psi}(\omega) &= 0 & \omega \notin \left[\frac{2\pi}{3}, \frac{8\pi}{3}\right]; \\ v(a) &= a^4(35 - 84a + 70a^2 - 20a^3) & a \in [0, 1]. \end{aligned}$$

А масштабуюча функція:

$$\begin{aligned} \hat{\psi}(\omega) &= (2\pi)^{-\frac{1}{2}} & |\omega| \leq \frac{2\pi}{3}, \\ \hat{\psi}(\omega) &= (2\pi)^{-\frac{1}{2}} e^{i\omega} \cos\left(\frac{\pi}{2} v\left(\frac{3}{2\pi}|\omega|-1\right)\right) & \frac{2\pi}{3} \leq |\omega| \leq \frac{4\pi}{3}, \\ \hat{\psi}(\omega) &= 0 & |\omega| > \frac{4\pi}{3}. \end{aligned}$$

$[\phi, \psi, T] = \text{meyer}(LB, UB, N)$ повертає функцію, що масштабує, і вейвлет-функцію Мейєра.

Отримаємо графіки вейвлета Мейєра та його масштабуючої функції (рис. 2.7):

```
lb = -5; ub = 10; n = 1024;
```

```
[phi,psi,x] = meyer(lb,ub,n);
```

```
subplot(211). plot(x,psi); title('Meyer wavelet')
```

```
subplot(212). plot(x,phi); title('Meyer scaling function')
```

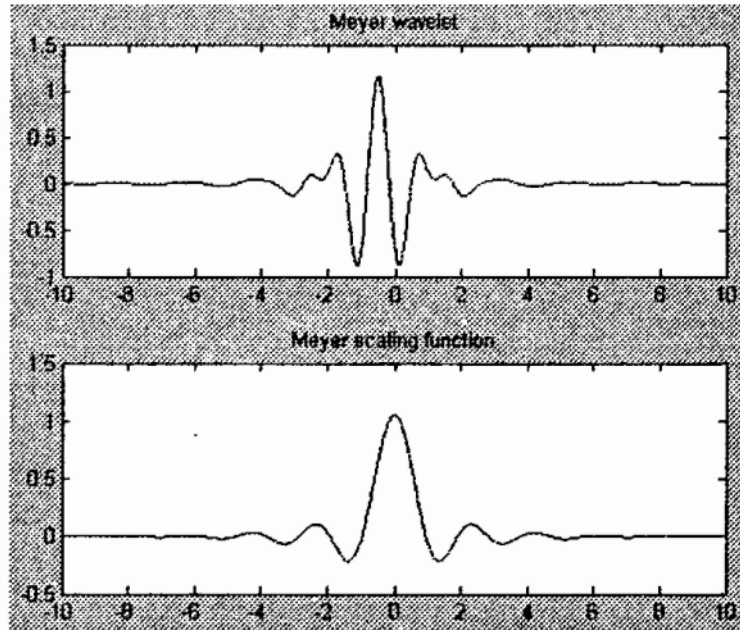


Рис. 2.7. Графік вейвлета Мейлера

Якщо використовувати функцію $Y = \text{meyeraux}(x)$, можна обчислювати додаткову функцію, яка описується поліномом $35x^4 - 85x^5 + 70x^6 - 20x^7$.

Вейвлет Морлета.

Функція $[\text{psi}, X] = \text{morlet}(LB, UB, N)$ повертає значення вейвлета Морлета в N точках в межах інтервалу $[LB, UB]$. Вихідним аргументом є функція psi :

$$\psi(x) = e^{-\frac{x^2}{2}} \cos(5x).$$

Для побудови графіка цієї функції (рис. 2.8) можна використовувати наступний приклад:

```
lb = -5; ub = 10; n = 512;
```

```
[psi,x] = morlet(lb,ub,n);
```

```
plot(x,psi). title('Morlet wavelet')
```

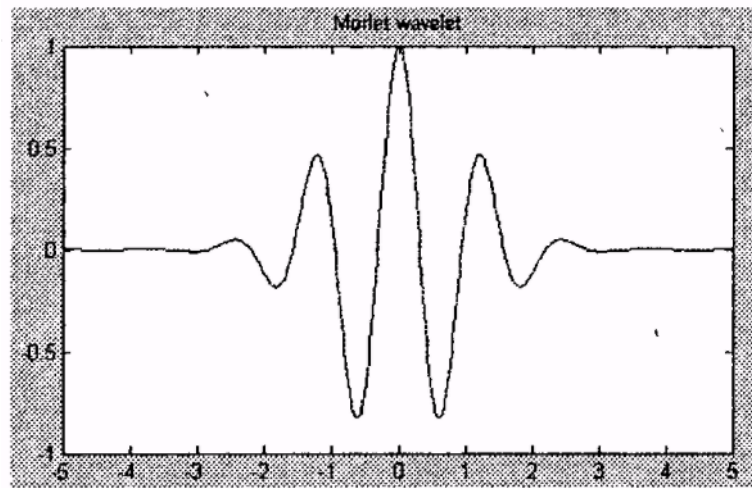


Рис. 2.8. Графік вейвлета Мейлера

Масштабуючі фільтри вейвлета Симлета - `sumaux` та `sumwavf`

Функція $W = \text{sumaux}(N, \text{SUMW})$ повертає масштабуючий фільтр Симлета порядку N такий, що $\text{SUM}(W) = \text{SUMW}$. Симлет-вейвлет – це найменший асиметричний вейвлет Добеші.

$F = \text{sumwavf}(W)$ повертає масштабуючий фільтр, пов'язаний з Симлет-вейвлетом, що визначається рядком W , де $W = \text{'symN'}$. N приймає значення 2,3,..., 45.

2.2 Порівняння вейвлетів різного типу

На даний момент вибір вейвлетів досить великий. Як було показано, тільки в пакеті Wavelet Toolbox є біля 20 базових типів вейвлетів. При цьому важливим є правильний вибір типу вейвлета. Тому нижче узагальнено основні властивості вейвлетів різного типу. Їх облік дозволяє підбирати найбільш підходящі типи вейвлетів на вирішення конкретних завдань обробки сигналів і зображень.

Грубі (Crude) вейвлети

До грубих вейвлетів відносяться вейлети Гаусового типу (`gaus`), Морлета (`morlet`) та «мексиканські капелюхи» (`mexihat`). Вони мають мінімум

властивостей, які повинні мати вейвлети, що забезпечують повноцінні можливості в техніці перетворення сигналів:

- функція ρ_i у них відсутня;
- аналіз не є ортогональним;
- ρ_i не має компактного носія;
- Можливість реконструкції не гарантована;
- можлива безперервна декомпозиція;
- основні характеристики: симетричність, функція ρ_i визначається явно;
- швидкі алгоритми перетворень та точна реконструкція неможливі.

Нескінченні регулярні вейвлети

До нескінченних регулярних вейвлетів належать вейвлети Мейєра.

Вони мають такі властивості:

- мають функцію ρ_i та їх аналіз ортогональний;
- функції ρ_i та ρ_i не визначені явно;
- функції ρ_i та ρ_i не мають компактного носія;
- вейвлети симетричні та регулярні в нескінченності;
- Швидкий алгоритм перетворень не підтримується.

У цих вейвлетів можливі такі методи аналізу:

- безперервні перетворення;
- Дискретні перетворення, але без FIR-фільтрів.

Ще один вейвлет цього типу – дискретний вейвлет Мейєра, з властивостями:

- апроксимація фільтром класу FIR;
- Підтримка безперервного та дискретного перетворень.

Ортогональні вейвлети з компактим носієм

До цих вейвлетів відносяться вейвлети Добеші, Симлета та Коіфлетса.

- функція ρ_i є, і аналіз відноситься до ортогонального типу;
- функції мають кілька моментів зникання;
- функції ρ_i та ρ_i мають компактний носій;

- можливі безперервні перетворення та дискретні перетворення із застосуванням швидкого вейвлет-перетворення.

Деякі проблеми:

- недостатня періодичність.
- вейвлети dbN несиметричні;
- вейвлети $symN$ близькі із симетричним;
- вейвлети $coifN$: відсутність симетрії, функцій ϕ і ψ , наявності моментів зникнення.

Біортогональні парні вейвлети з компактним носієм

До них відносяться В-сплайнові біортогональні вейвлети ($biorNrJfd$ та $rbiorNr.Nd$). Вони мають такі властивості:

- є функція ϕ , та аналіз відноситься до біортогонального типу;
- обидві функції, ψ та ϕ , для декомпозиції та реконструкції мають компактний носій;
- ϕ та ψ для декомпозиції мають моменти зникнення;
- ψ та ϕ для реконструкції можуть мати періодичність.

Можливі види аналізу - безперервне перетворення та дискретне перетворення з використанням алгоритму швидкого вейвлет-перетворення.

Найбільш істотні переваги: симетрія з фільтрами, бажані властивості для розкладання і відновлення розділені, можливо хороший розподіл.

Найбільш істотні проблеми: відсутність ортогональності.

Комплексні вейвлети

До комплексних відноситься досить велика група вейвлетів: Гауса, Морлета, Шенона і частотні В-сплайнові вейвлети ($fbspM-Fb-Fc$). Вони мають мінімальні властивості:

- функція ϕ відсутня;
- аналіз не ортогональний;
- функція ψ не має компактного носія;
- характеристики реконструкції не гарантуються;
- можливий аналіз типу комплексної декомпозиції.

Труднощі застосування: швидкий алгоритм і реконструкція неможливі.

2.3 Висновки до розділу 2

Проаналізовано різні типи вейвлетів та встановлено, що важливим є правильний вибір типу вейвлета, оскільки вони різняться за властивостями та можливостями для різних задач.

Проаналізовано можливості і обмеження грубих вейвлетів, нескінченних регулярних вейвлетів, біортогональних парних вейвлетів та комплексних вейвлетів. Встановлено, що для задачі фільтрації зокрема акустичних сигналів мають добре підійти вейвлет Добеші та Хаара.

РОЗДІЛ 3

НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1 Фільтрація сигналів в MATLAB

Проведемо фільтрацію тестового сигналу в середовищі Matlab. Для цього з допомогою комп'ютерного мікрофона записано голосовий сигнал з повторенням звуку [а]. Його через команду Import було завантажено в програму та побудовано початковий графік (рис. 3.1).

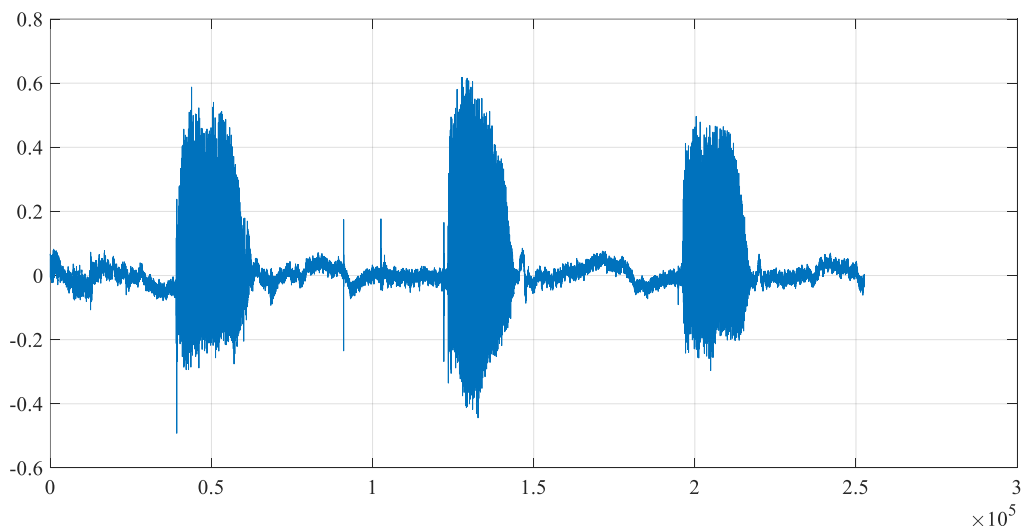


Рис. 3.1. Тестовий сигнал із шумом

На наступному етапі було побудовано оцінки амплітудного спектру ділянки шуму та ділянки суміші сигналу і шуму. Вони наведені на рис. 3.2. та рис. 3.3.

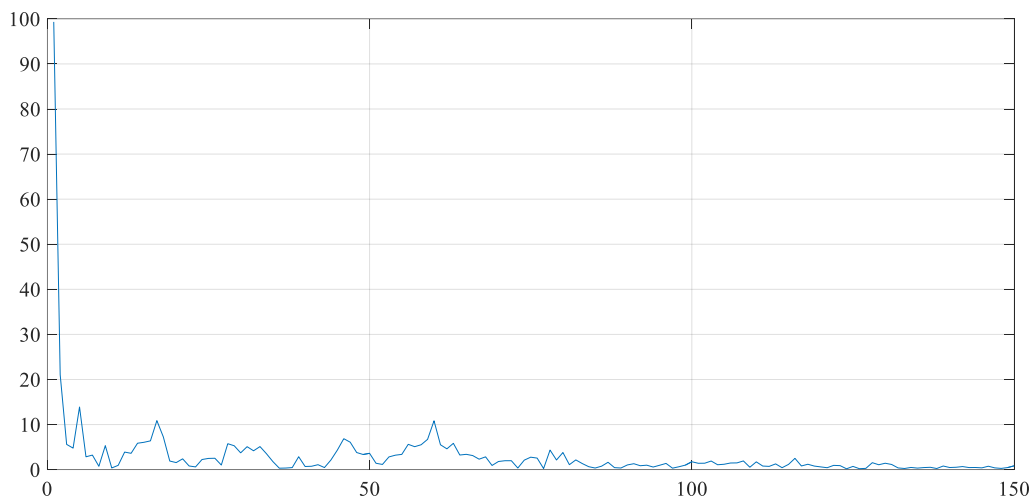


Рис. 3.2. Спектр ділянки шуму

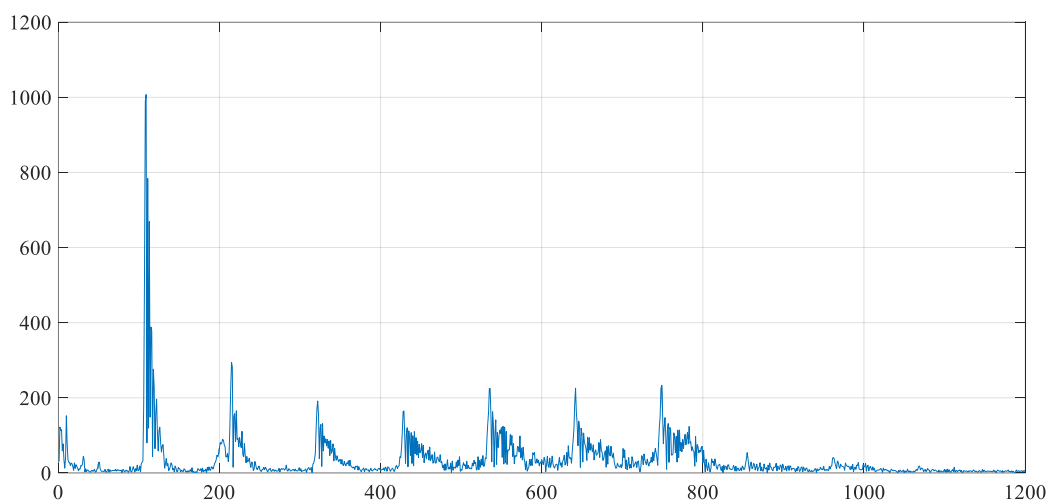


Рис. 3.3. Спектр ділянки сигналу

Дальше було завантажено сигнал в модуль GUI через команду `wavemenu`. Це спеціальний модуль, який працює із різними типами вейвлетів. Тут можна як використовувати існуючі, які були описані в попередньому розділі, так і створювати свої із можливістю їхнього повного налаштування. Модуль подібний до `sptool`.

Вигляд вікна модуля наведений на рис. 3.4.

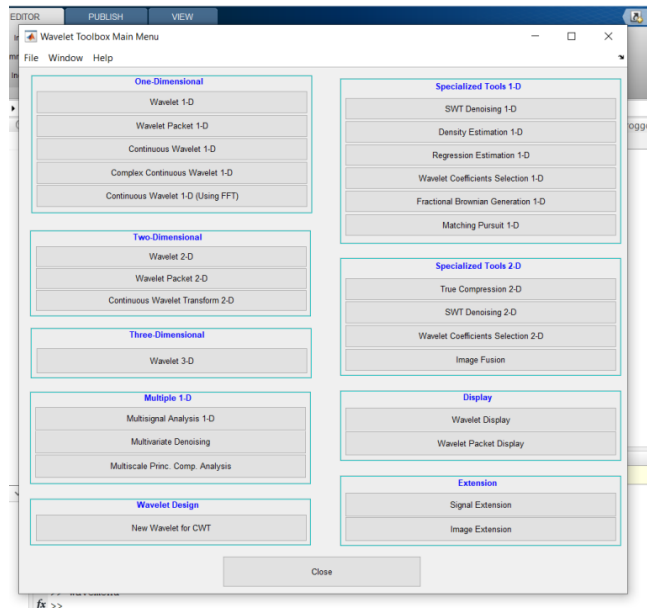


Рис. 3.4. Вигляд вікна модуля

В цьому модулі можна проводити операції із застосуванням вейвлетів, однією з яких є фільтрація. Зокрема в колонці Specialized Tools 1-D та 2-D є активні функції SWT De-noising, призначені для проведення фільтрації одно та двомірних сигналів.

Проведемо фільтрацію нашого сигналу. Для цього перейдемо по SWT De-noising в колонці Specialized Tools 1-D. Далше через file потрібно завантажити потрібний сигнал. Появиться вікно, як на рис. 3.5.

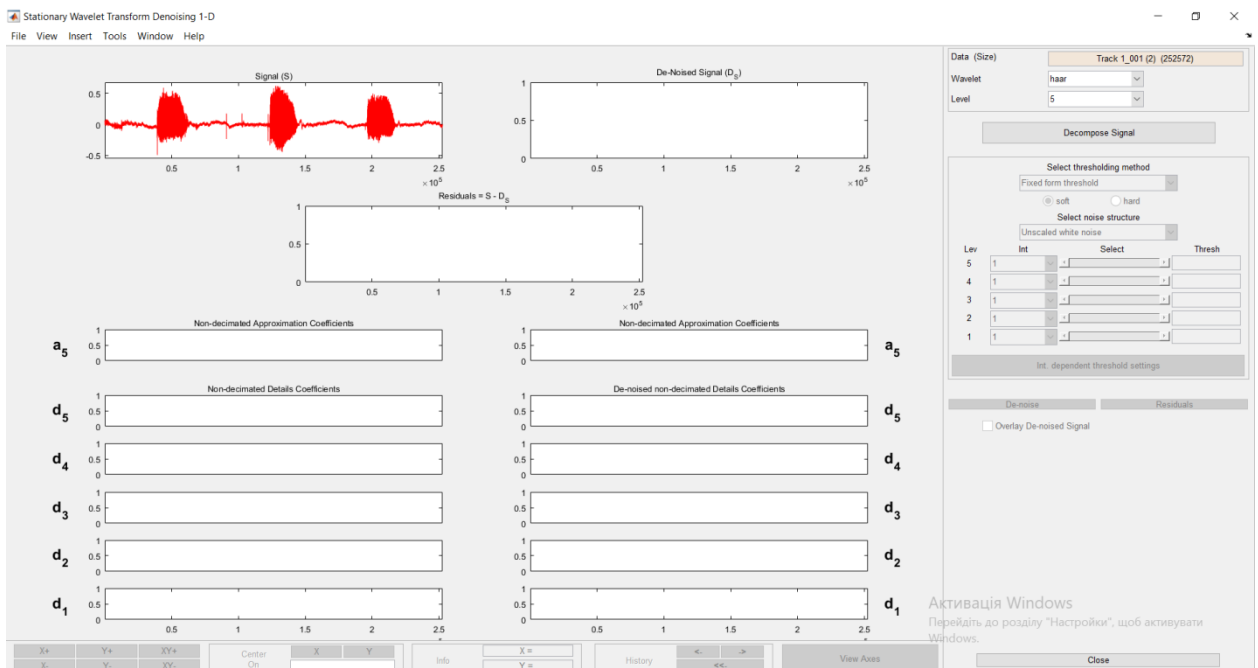


Рис. 3.5. Завантаження сигналу

Тут можна встановлювати типи вейвлетів (верхня права сторона екрана) із можливих, які є в бібліотеці, порядок вейвлета та рівні декомпозиції.

Клацнувши на "Decomposite Signal" програма виконає ВП та виведе зліва нижче основного сигналу вигляди коефіцієнтів встановлених рівнів (рис. 3.6).

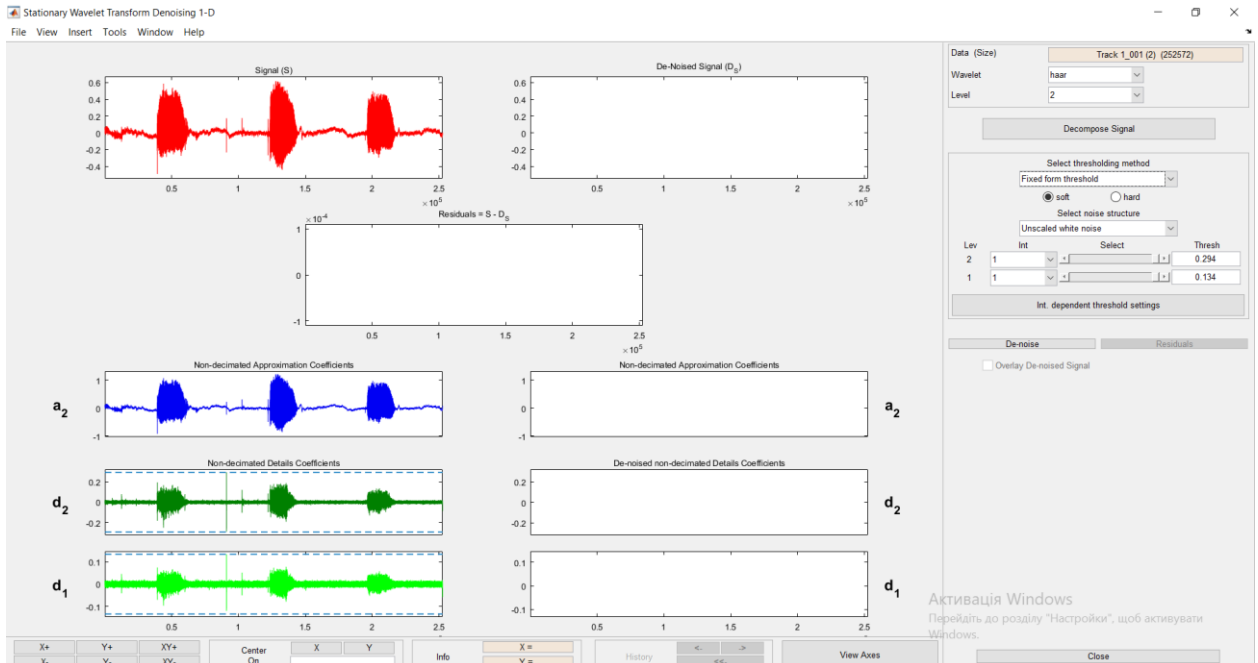


Рис. 3.6. Налаштування модуля

Оскільки довжина сигналу є невеликою, для вибраного по замовчужанню вейвлета Хаара встановлено кількість рівнів 2. Подібні операції були проведені і для вейвлета Добеші.

Після цього можна вибрати параметри фільтрації та розміри порогів, які можна змінювати.

Встановивши усі настройки клацаємо на De-noise. Після цього в лівій частині екрана появляться графіки деталізуючих коефіцієнтів, а зверху – вигляд відновленого сигналу та усунутої частини (рис. 3.7).

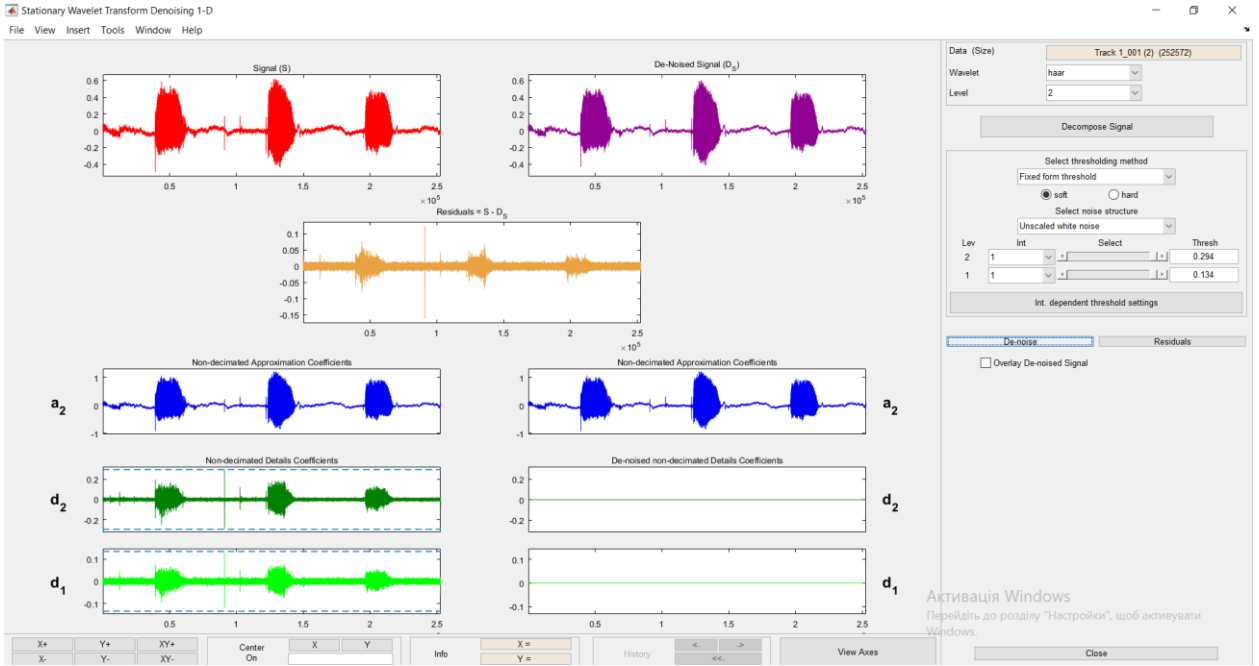


Рис. 3.7. Результати наближеної фільтрації

Тепер проаналізуємо як змінились параметри сигналу та шуму після фільтрації.

Завантажуємо отриманий сигнал в середвище Matlab (рис. 3.8).

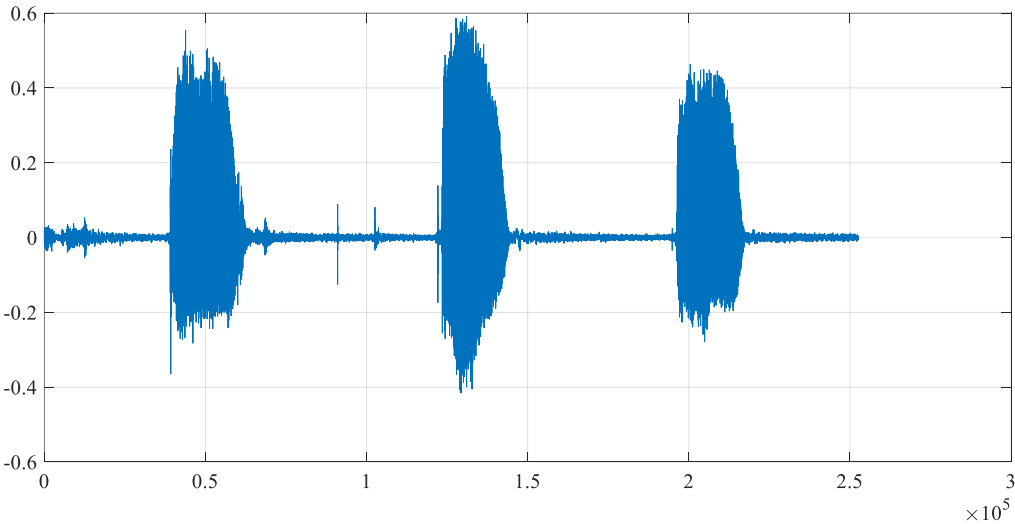


Рис. 3.8. Відфільтрований сигнал

Як бачимо, в порівнянні із вихідним сигналом рівень шуму дещо зменшився. Порівняємо тепер спектральні склади шуму і ділянки сигналу (рис.3.9 та рис. 3.10)

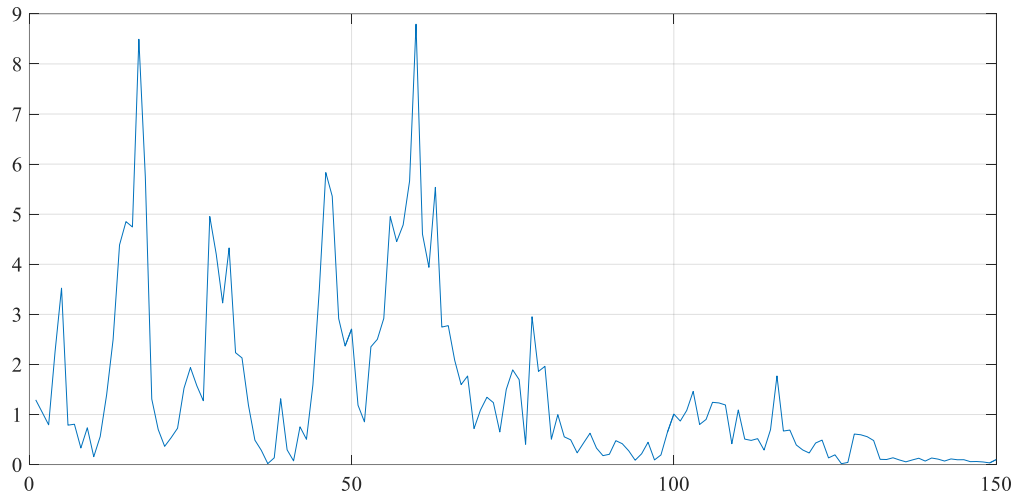


Рис. 3.9. Спектр ділянки шуму

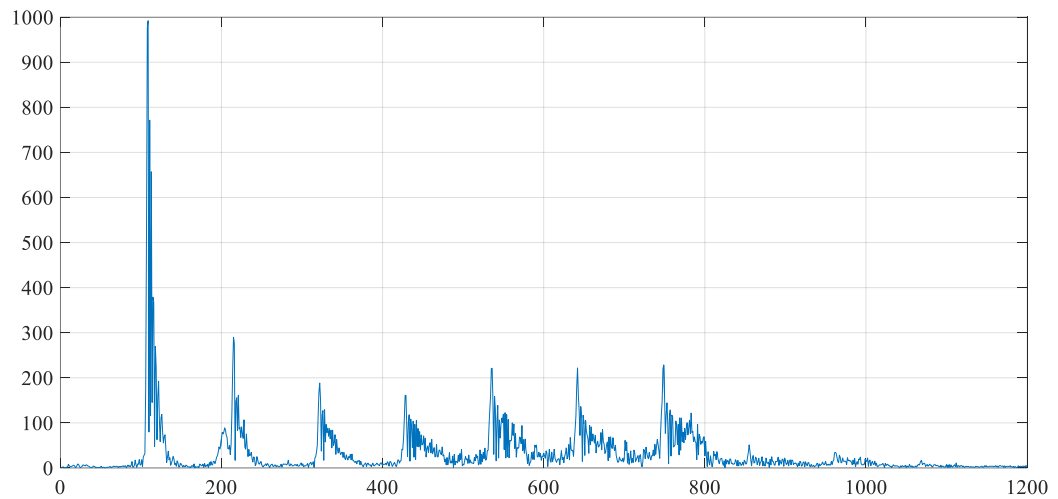


Рис. 3.10. Спектр ділянки сигналу

Також зміни відбулись і в спектрі шуму. Пропали низькочастотні складові та зменшився загальний рівень шуму. При чому при застосуванні вейвлета Добеші результат виявився кращим.

Таким чином, вибравши необхідний тип вейвлета та його параметри в процесі фільтрації сам процес фільтрації може бути простішим та ефективнішим в порівнянні із іншими типами фільтрації.

3.2 Висновки до розділу 3

В розділі було проведено фільтрацію тестового сигналу в середовищі Matlab. Для цього з допомогою комп'ютерного мікрофона записано голосовий сигнал. Опрацювання проведено в модкулі GUI, який працює із різними типами вейвлетів. Для фільтрації використано вейвлети Хаара та Добеші. Встановлено, що при використанні вейвлета Добеші рівень фонового шуму знизився суттєвіше як у випадку вейвлета Хаара.

Таким чином, вибравши необхідний тип вейвлета та його параметри в процесі фільтрації сам процес фільтрації може бути простішим та ефективнішим в порівнянні із іншими типами фільтрації.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці

Акустичне середовище є важливим компонентом середовища існування: людина живе у світі звуків. Параметри акустичного середовища можуть суттєво впливати на загальний стан людини та її працездатність і успіхи діяльності (у системах зв'язку робота оператора пов'язана з прийманням сигналів). Екстремальні умови виникають, якщо людина через сторонній звуковий тиск не може розпізнати корисні сигнали і якщо рівень звукового тиску наближається до больової межі.

Величина звукового тиску звичайно оцінюється в децибелах (дБ). Шепіт людини, який сприймається на відстані 1,5...2 метри від того, хто говорить, становить 1...18дБ; шум у приміщенні, де працюють люди, але нема машин (студентська аудиторія без чутної лекторської мови), - 40дБ; мова людини середньої нормальної гучності, що приймається людиною, котра стоїть поруч - 60 дБ; шум двигуна легкового автомобіля - 75дБ; шум електропоїзда метро, який сприймається на віддалі 3 м від нього - 95дБ; шум реактивного літака - 115дБ.

Вже при рівні звуку 100 дБ виникає загальна втома, знижується працездатність та якість праці. При рівні звуку 100...110 дБ шум та звук викликають гнітючу дію. При рівні звуку (шуму) 110 дБ неможливе мовне спілкування. Больова межа рівня звуку становить 120-130 дБ.

При проектуванні робочих місць рівень звуку понад 80 дБ вважається недопустимим. Рекомендований рівень звуку в приміщеннях для конструкторських та теоретичних робіт і опрацювання експериментальних даних - 50 дБ, в приміщеннях керування, робочих кімнатах- 60 дБ, на робочих місцях у виробничих приміщеннях - не більше 80 дБ.

Якщо рівень звукового тиску перевищує допустимий, використовують індивідуальні та колективні засоби захисту (ізоляція джерела звуку чи робочих приміщень) - вушні заглушки, навушники, шоломи.

Механічні коливання, які виникають при роботі працюючих машин, можуть викликати не лише звуки та шуми, але й вібрації.

Вібрація - це механічні коливання пружних тіл, які характеризуються амплітудою, швидкістю та прискоренням.

За характером дії вібрацію поділяють на загальну та місцеву. Загальні вібрації діють на все тіло людини. Внутрішні органи людини утворюють коливні системи з власною частотою коливань (в межах десятків та сотень Гц). Резонансна частота серця, живота та грудної клітки - 5 Гц, голови - 20 Гц, очних яблук - 60 Гц, центральної нервової системи - 250 Гц. Дія зовнішніх коливань з кратними частотами може викликати резонансні явища та призвести до зміщення та механічних ушкоджень внутрішніх органів. Частота власних коливань людей, що сидять, складає 4...8 Гц.

Вібрація сприймається людиною як природне навантаження, що подібне на важку працю. Вібрації частотою понад 200 Гц перевантажують нервову систему людини, потребують підвищеної психічної напруги.

4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Порядок дій у разі виникнення надзвичайних ситуацій

Хімічна небезпека.

Аварії (катастрофи) на підприємствах, транспорті та продуктопроводах можуть супроводжуватися викидом (випливом) в атмосферу і на прилеглу територію сильнодіючих отруйних речовин (СДОР), таких як хлор, аміак, синильна кислота, фосген, сірчаний ангідрид та інші. Це являє серйозну небезпеку для населення, заражене повітря уражає органи дихання, а також очі, шкіру та інші органи.

Фактори небезпеки викиду (розливу) хімічно небезпечних речовин: забруднення навколишнього середовища, небезпека для всього живого, що опинилося на забрудненій місцевості (загибель людей, тварин, знищення посівів та ін.), крім того, внаслідок можливого хімічного вибуху виникнення сильних руйнувань на значній території.

Дії у випадку загрози виникнення хімічної небезпеки:

1. Сирени і переривчасті гудки підприємств - це сигнал "Увага всім". негайно ввімкніть приймач радіотрансляційної мережі або телевізор. Слухайте інформацію про надзвичайну ситуацію та порядок дій.

2. При оголошенні небезпечного стану уникайте паніки.

3. Попередьте сусідів, надайте допомогу інвалідам, дітям та людям похилого віку.

4. Виконайте заходи щодо зменшення проникнення отруйних речовин в квартиру (будинок): щільно закрийте вікна та двері, щілини заклейте.

5. Підготуйте запас питної води: наберіть воду у герметичні ємності, підготуйте найпростіші засоби санітарної обробки (мильний розчин для обробки рук).

6. Дізнайтеся у місцевих органів влади про місце збору мешканців для евакуації та уточніть час її початку. Підготуйтеся: упакуйте у герметичні пакети та складіть у валізу документи, цінності та гроші, предмети першої необхідності, ліки, мінімум білизни та одягу, запас консервованих продуктів на 2-3 доби.

7. Перед виходом з будинку вимкніть джерела електро-, водо- і газопостачання, візьміть підготовлені речі, одягніть засоби захисту.

Дії у випадку раптового виникнення хімічної небезпеки:

1. Уникайте паніки. З одержанням повідомлення (по радіо або іншим засобам оповіщення) про викид (розлив) в атмосферу СДОР та про небезпеку хімічного зараження, виконайте передбачені заходи.

2. Надягніть засоби індивідуального захисту органів дихання та найпростіші засоби захисту шкіри.

3. По можливості негайно залишіть зону хімічного забруднення.

4. Якщо засобів індивідуального захисту немає і вийти із району аварії неможливо, залишайтеся у приміщенні і негайно та надійно герметизуйте приміщення! Зменшити можливість проникнення СДОР (парів, аерозолів) у приміщення: щільно закрийте вікна та двері, димоходи, вентиляційні люки, щілини в рамах вікон та дверей заклейте, вимкніть джерела газо-, електропостачання та загасіть вогонь у печах. Чекайте повідомлень органів влади з питань надзвичайних ситуацій через засоби зв'язку.

5. Знайте, що вражаюча дія конкретної СДОР на людину залежить від її концентрації у повітрі та тривалості, тому якщо немає можливості покинути небезпечну зону, не панікуйте і продовжуйте вживати заходи безпеки.

6. Швидко зберіть необхідні документи, цінності, ліки, продукти, запас питної води та інші необхідні речі у герметичну валізу та підготуйтеся до евакуації.

7. Попередьте сусідів про початок евакуації. Надайте допомогу дітям, інвалідам та людям похилого віку. Вони підлягають евакуації в першу чергу.

8. Залишаючи приміщення (квартиру, будинок) вимкніть джерела електро-, водо- і газопостачання, візьміть підготовлені речі, одягніть засоби захисту.

9. Виходьте із зони хімічного зараження в бік, перпендикулярний напрямку вітру та обходьте тунелі, яри, лощини - в низинах може бути висока концентрація СДОР.

10. При підозрі на ураження СДОР уникайте будь-яких фізичних навантажень, необхідно пити велику кількість рідини (чай, молоко, сік, вода) та звернутися до медичного закладу.

11. Вийшовши із зони зараження, зніміть верхній одяг, ретельно вимийте очі, ніс та рот, по можливості прийміть душ.

12. З прибуттям на нове місце перебування, дізнайтеся у місцевих органів державної влади та місцевого самоврядування адреси організацій, що відповідають за надання допомоги потерпілому населенню.

Надання першої допомоги при ураженні СДОР

В першу чергу негайно захистіть органи дихання від подальшої дії СДОР. Надягніть на потерпілого протигаз або ватно-марлеву пов'язку, попередньо змочивши її водою або 2% розчином питної соди у випадку отруєння хлором, а у разі отруєння аміаком - водою або 5% розчином лимонної кислоти. Винесіть потерпілого із зони зараження та забезпечте йому спокій і тепло.

Радіаційна небезпека

Факторами небезпеки радіації є: забруднення навколишнього середовища, небезпека для всього живого, що опинилося на забрудненій місцевості (загибель людей, тварин, знищення посівів та ін.), крім того, внаслідок можливого атомного вибуху виникнення сильних руйнувань на значній території.

Дії у випадку загрози виникнення радіаційної небезпеки:

1. При оголошенні небезпечного стану не панікуйте, слухайте повідомлення.
2. Попередьте сусідів, надайте допомогу інвалідам, дітям та людям похилого віку.
3. Дізнайтеся про час та місце збору мешканців для евакуації.
4. Уменшіть проникнення радіаційних речовин в квартиру (будинок): щільно закрийте вікна та двері, щілини заклейте.
5. Підготуйтеся до можливої евакуації: упакуйте у герметичні пакети та складіть у валізу документи, цінності та гроші, предмети першої необхідності, ліки, мінімум білизни та одягу, запас консервованих продуктів на 2-3 доби, питну воду. Підготуйте найпростіші засоби санітарної обробки (мильний розчин).
6. Перед виходом з приміщення від'єднайте всі споживачі електричного струму від електромережі, вимкніть газ та воду.

Дії у випадку раптового виникнення радіаційної небезпеки:

1. З одержанням повідомлення про радіаційну небезпеку негайно укрийтеся в будинку. Стіни дерев'яного будинку послаблюють іонізуюче випромінювання в 2 рази, цегляного - у 10 разів; заглиблені укриття (підвали): з покриттям із дерева у 7 разів, з покриттям із цегли або бетону - у 40-100 разів.

2. Уникайте паніки. Слухайте повідомлення органів влади з питань надзвичайних ситуацій.

3. Уменшіть можливість проникнення радіаційних речовин в приміщення.

4. Проведіть йодну профілактику. Йодистий калій вживати після їжі разом з чаєм, соком або водою 1 раз на день протягом 7 діб: дітям до двох років - по 0,040 г на один прийом; дітям від двох років та дорослим - по 0,125 г на один прийом. Водно-спиртовий розчин йоду приймати після їжі 3 рази на день протягом 7 діб: дітям до двох років - по 1-2 краплі 5% настоянки на 100мл молока або годувальної суміші; дітям від двох років та дорослим - по 3-5 крапель на стакан молока або води. Наносити на поверхню кінцівок рук настоянку йоду у вигляді сітки 1 раз на день протягом 7 діб.

5. Уточніть місце початку евакуації. Попередьте сусідів, допоможіть дітям, інвалідам та людям похилого віку. Вони підлягають евакуації в першу чергу.

6. Швидко зберіть необхідні документи, цінності, ліки, продукти, запас питної води, найпростіші засоби санітарної обробки та інші необхідні вам речі у герметичну валізу.

7. По можливості негайно залишіть зону радіоактивного забруднення.

8. Перед виходом з будинку вимкніть джерела електро-, водо- і газопостачання, візьміть підготовлені речі, одягніть протигаз (респіратор, ватно-марлеву пов'язку), верхній одяг (плащ, пальто, накидка), гумові чоботи.

9. З прибуттям на нове місце перебування, проведіть дезактивацію засобів захисту, одягу, взуття та санітарну обробку шкіри на спеціально

обладнаному пункті або ж самостійно (зняти верхній одяг, ставши спиною проти вітру, витрясти його; повісити одяг на перекладину, віником або щіткою змести з нього радіоактивний пил та вимити водою; обробити відкриті ділянки шкіри водою. Для обробки шкіри можна використовувати марлю чи просто рушники.

10. Дізнайтеся у місцевих органів державної влади адреси організацій, що відповідають за надання допомоги потерпілому населенню.

Повінь, паводок

Фактори небезпеки повеней та паводків: руйнування будинків та будівель, мостів; розмив залізничних та автомобільних шляхів; аварії на інженерних мережах; знищення посівів; жертви серед населення та загибель тварин.

Внаслідок повені, паводку починається просідання будинків та землі, виникають зсуви та обвали.

Дії у випадку загрози виникнення повені, паводка:

1. Уважно слухайте інформацію про надзвичайну ситуацію та інструкції про порядок дій, не користуйтеся без потреби телефоном, щоб він був вільним для зв'язку з вами.

2. Зберігайте спокій, попередьте сусідів, надайте допомогу інвалідам, дітям та людям похилого віку.

3. Дізнайтеся у місцевих органах державної влади та місцевого самоврядування місце збору мешканців для евакуації та готуйтеся до неї.

4. Підготуйте документи, одяг, найбільш необхідні речі, запас продуктів харчування на декілька днів, медикаменти. Складіть все у валізу. Документи зберігайте у водонепроникному пакеті.

5. Від'єднайте всі споживачі електричного струму від електромережі, вимкніть газ.

6. Перенесіть більш цінні речі та продовольство на верхні поверхи або підніміть на верхні полиці.

7. Переженіть худобу на підвищену місцевість.

Пожежа

Щорічно внаслідок пожеж гине та страждає значна кількість людей. В дим та попіл перетворюються цінності на мільярди гривень.

Якщо виникла пожежа - рахунок часу йде на секунди. Не панікуйте та остерігайтеся: високої температури, задимленості та загазованості, обвалу конструкцій будинків і споруд, вибухів технологічного обладнання і приладів, падіння обгорілих дерев і провалів. Знайте, де знаходяться засоби пожежогасіння, та вмійте ними користуватися.

Заходи щодо рятування потерпілих з будинків, які горять, та під час гасіння пожежі:

1. Перед тим, як увійти в приміщення, що горить, накрийтеся мокрою ковдрою, будь-яким одягом чи щільною тканиною.
2. Відкривайте обережно двері в задимлене приміщення, щоб уникнути посилення пожежі від великого притоку свіжого повітря.
3. В сильно задимленому приміщенні рухайтесь поповзом або пригинаючись.
4. Для захисту від чадного газу необхідно дихати через зволожену тканину.
5. У першу чергу рятуйте дітей, інвалідів та старих людей.
6. Пам'ятайте, що маленькі діти від страху часто ховаються під ліжку, в шафу та забиваються у куток.
7. Виходити із осередку пожежі необхідно в той бік, звідки віє вітер.
8. Побачивши людину, на якій горить одяг, зваліть її на землю та швидко накиньте будь-яку ковдру чи покривало (бажано зволожену) і щільно притисніть до тіла, при необхідності, викличте медичну допомогу.
9. Якщо загорівся ваш одяг, падайте на землю і перевертайтеся, щоб збити полум'я, ні в якому разі не біжіть - це ще більше роздуває вогонь.
10. Під час гасіння пожежі використовуйте вогнегасники, пожежні гідранти, воду, пісок, землю, кошму та інші засоби гасіння вогню.

11. Бензин, гас, органічні масла та розчинники, що загорілися, гасіть тільки за допомогою пристосованих видів вогнегасників, засипайте піском або ґрунтом, а якщо осередок пожежі невеликий, накрийте його азбестовим чи брезентовим покривалом, зволоженою тканиною чи одягом.

12. Якщо горить електричне обладнання або проводка, вимкніть рубильник або електричні пробки, а потім починайте гасити вогонь.

4.3 Висновки до розділу

В розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» описано екстремальні умови, пов'язані з впливом шуму та порядок дій у разі виникнення надзвичайних ситуацій.

ВИСНОВКИ

Цифрова фільтрація є особливо актуальною сьогодні в області розроблення нових чи покращення існуючих комунікаційних технологій для підвищення якості прийому повідомлень, що передаються. Класично для вирішення питань фільтрації сьогодні використовуються підходи, які використовують перетворення Фур'є. Однак такий метод має ряд обмежень, що зменшує його застосування, зокрема такі фільтри не усувають ефективно ізольовані ознаки сигналу.

Перспективною є теорія вейвлет-аналізу. Термін «вейвлет» є спільною назвою локальних за часом і частотою сімейств математичних функцій певного виду, в яких усі функції отримуються з однієї основної (генеруючої) функції шляхом її зсуву та розтягування вздовж часової осі.

Проведено порівняння вейвлет-перетворення і перетворення Фур'є та встановлено переваги першого.

Проаналізовано різні типи вейвлетів та встановлено, що важливим є правильний вибір типу вейвлета, оскільки вони різняться за властивостями та можливостями для різних задач.

Проаналізовано можливості і обмеження грубих вейвлетів, нескінченних регулярних вейвлетів, біортогональних парних вейвлетів та комплексних вейвлетів. Встановлено, що для задачі фільтрації зокрема акустичних сигналів мають добре підійти вейвлет Добеші та Хаара.

Проведено фільтрацію тестового сигналу в середовищі Matlab. Для цього з допомогою комп'ютерного мікрофона записано голосовий сигнал. Опрацювання проведено в модкулі GUI, який працює із різними типами вейвлетів. Для фільтрації використано вейвлети Хаара та Добеші. Встановлено, що при використанні вейвлета Добеші рівень фонового шуму знизився суттєвіше як у випадку вейвлета Хаара.

Таким чином, вибравши необхідний тип вейвлета та його параметри в процесі фільтрації сам процес фільтрації може бути простішим та ефективнішим в порівнянні із іншими типами фільтрації

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: Основы теории и примеры применения. – Успехи физических наук, 1996, т.166, № 11, стр. 1145-1170.
3. Дьяконов В., Абраменкова И. MATLAB. Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2002, 608 с.
4. Илюшин. Теория и применение вейвлет-анализа. – <http://atm563.phus.msu.ru/Pyushin/index.htm>.
5. Отнес Р., Эноксон Л. Прикладной анализ временных рядов. – М.: Мир, 1982. – 428 с.
6. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. – М.: Мир, 1978. – 848 с.
7. Рапопорт М.Б. Вычислительная техника в полевой геофизике: Учебник для вузов. - М.: Недра, 1993. - 350 с.
8. Сиберт У.М. Цепи, сигналы, системы. – М.: Мир, 1988. – 336 с.
9. Стрижевский Н.З. Коаксиальные видеолнии. – М.: Радио и связь, 1988. – 200 с.
10. Хемминг Р.В. Цифровые фильтры. – М.: Недра, 1987. – 221 с.
11. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. – СПб.: Питер, 2003. – 608 с.
12. Вероятностные методы в вычислительной технике: Учебное пособие для вузов./ А.В.Крайников и др. - М.: Высшая школа, 1986. - 312 с.
13. Гурский Е.И. Теория вероятностей с элементами математической статистики: Учебное пособие для вузов. - М.: Высшая школа, 1971.- 328 с.
14. Дозорський, В. Синфазний метод статистичного опрацювання фрикативних звуків для задач діагностики голосового апарату / В. Дозорський // Вісник Сумського державного університету. Технічні науки. – Суми : видавництво СумДУ, 2012. – № 3. – С. 16–21.

15. Дозорський В. Обґрунтування математичної моделі фрикативного звуку у вигляді періодично корельованого випадкового процесу / Я. Драган, Є. Яворська, В. Дозорський // Вісник тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя. – Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2010. – Т15, № 10. – С. 159-164.

16. Дедів І. Обґрунтування математичної моделі дихальних шумів у вигляді періодично корельованого випадкового процесу / Я. Драган, І. Дедів // Науковий вісник Чернівецького університету. Вип. 426: Фізика. Електроніка. ЧНУ – Чернівці: Рута. – 2008. – Ч. II. – С. 93-97.

17. Джичка Н., Дедів І., Дозорський В., Драган Я. Модель акустичного сигналу для виявлення порушень стану дихальної системи та голосового апарату як частковий випадок стохастичної коливної системи. Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехніка". 2011. № 710. С. 155-158.

18. Бачинський М.В. Обґрунтування структури системи відбору акустичних сигналів для задач медичної діагностики систем дихання та голосотворення / М.В. Бачинський, В.Г. Дозорський, І.Ю. Дедів // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький : ХНУ, 2011. – №3. – С.192-195.

19. Дозорська О.Ф., Дозорський В.Г., Дедів Л.Є., Дедів І.Ю., Яворська Є.Б. Застосування нейрохронаксічної теорії фонації для задачі відновлення комунікативної функції мови людини. Znanstvena misel. Slovenia. 2017. №12. С. 57-61.

20. Дозорський В.Г., Фалендиш В.В., Дедів Л.Є., Паляниця Ю.Б. Метод виявлення проявів ішемічної хвороби серця для медичних систем контролю стану пацієнта // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. Кременчук КрНУ, 2015. Випуск 1, частина 1 (90). С. 63–68.

21. Никитюк В. В., Дозорський В. Г., Шадріна Г. М. Обґрунтування структури системи відбору фотоелектричних сигналів для визначення

ступеня полімеризації стоматологічного матеріалу. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. 2014. № 2. С. 189 – 192.

22. Бачинський, М.В. Комп'ютерна імітаційна модель вокалізованих фрикативних звуків / М.В. Бачинський, Л.Є. Дедів, В.Г. Дозорський // Вісник Сумського державного університету. Технічні науки. – Суми : видавництво СумДУ, 2012. – № 1. – С. 149–156.

23. Дедів Л.Є., Дозорський В.Г., Бачинський М.В. Математична модель електроенцефалографічного сигналу для задач побудови комп'ютерних діагностичних систем. Вісник Хмельницького національного університету. 2012. №2. С. 186-189.

24. Драган, Я. Метод опрацювання фрикативних звуків для діагностики захворювань органів голосового апарату на ранніх стадіях / Я. Драган, В. Дозорський, М. Хвостівський, І. Дедів // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – Львів : НУЛП, 2011. – № 694. – С. 376–382.

25. Dozorskyu V. Dediv L., Dozorska O. Mathematical model of vocal signals for the tasks of human vocal apparatus diagnostic. The National Journal of Biomedical Engineering, 2017. №1. 7 p.

26. Palaniza Y.B., Shadrina H.M., Khvostivskiy M.O., Dediv L.Ye., Dozorska O.F. Main theoretical basis of biosignals modeling. Znanstvena misel. Slovenia. 2018. №16. P. 39-44.

27. Vyacheslav Nykytyuk, Vasyl Dozorskyi, Oksana Dozorska. Detection of biomedical signals disruption using a sliding window. Scientific journal of the Ternopil National Technical University. 2018. Vol. 91. № 3. P. 125–133.

28. Oksana Dozorska, Evhenia Yavorska, Vasil Dozorskyi, Iryna Pankiv, Iryna Dediv, Leonid Dediv. The Method of Indirect Restoration of Human Communicative Function. 15th International Conference "The Experience of Designing and Application of CAD Systems" (CADSM) (Polyana, Svalyava, 26.02.2019-02.03.2019). Zakarpattya, 2019. P.19-22.

29. Хвостівська Л.В., Осухівська Г.М., Хвостівський М.О., Шадріна Г.М., Дедів І.Ю. Розвиток методів та алгоритмів обчислення періоду стохастичних біомедичних сигналів для медичних комп'ютерно-діагностичних систем. Вісник НТУУ "КПІ". Серія Радіотехніка, Радіоапаратобудування, (79). 2019. С. 78-84.

30. Дедів І. Комп'ютерне опрацювання дихального шуму синфазним методом для підвищення інформативності аускультативних систем Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: Комп'ютерні науки та інформаційні технології. Львів : НУЛП, 2011. №744. С. 77-81.

ДОДАТКИ

УДК 621.391.8

Михайло Мандзій, Ігор Поліщук, Павло Концограда, Ірина Дедів, к.т.н., доцент
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОГО ВИЯВЛЕННЯ СИГНАЛІВ В СУМІШІ ІЗ ЗАВАДАМИ В ОБЛАСТІ РАДІОТЕХНІКИ

Mykhailo Mandziy, Ihor Polishchuk, Pavlo Kotsograda, Iryna Dediw, PhD, Assoc. Prof.
THE PROBLEM OF OPTIMAL DETECTION OF SIGNALS IN MIXTURE WITH
INTERFERENCES IN THE FIELD OF RADIO ENGINEERING

Центральною задачею в області телекомунікацій, як і будь яких систем прийому-передачі даних (систем зв'язку), є задача виявлення корисного сигналу в суміші із завадами, зокрема при прийомі та обробці акустичних, електричних, електромагнітних та інших сигналів. Тому, розроблення методів оптимального виявлення корисного сигналу в суміші із завадами, які можуть бути втілені в роботі технічних телекомунікаційних засобів, є актуальним для покращення якості передавання даних в сучасних системах зв'язку.

Технічна система, яка призначена для виявлення сигналу в суміші із завадами називається виявником, а суть власне методу можна схематично зобразити так, як показано на рис. 1.

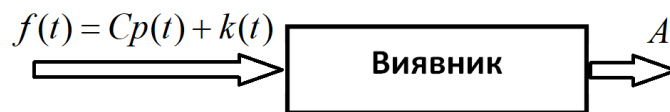


Рис. 1. Принцип роботи виявника корисного сигналу в суміші із завадами

Проаналізуємо принцип роботи виявника, показанного на рис. 1. Тут позначено $f(t)$ суміш на вході виявника, $p(t)$ - детерміновану або стохастичну функцію часу, яка описує корисний сигнал, C - випадкова величина, яка може приймати значення $a_0=0$ або $a_1=1$. При цьому 0 відповідає випадку відсутності корисного сигналу в суміші із завадами, а 1 відповідає випадку присутності такого сигналу. Таким чином. Функція $k(t)$ описує заваду, яка являє собою стохастичний процес, який накладається на корисний сигнал та приховує його. A - індикаторна функція наявності корисного сигналу, яка в загальному випадку являє собою стохастичну величину, яка може приймати значення $a_0=0$ і $a_1=1$. При цьому, 0 відповідає стану прийняття рішення виявником про відсутність корисного сигналу, а 1 – відповідає стану прийняття рішення виявником про наявність корисного сигналу. Таким чином $A = \begin{cases} a_0 = 0, & \text{рішення: сигнал відсутній;} \\ a_1 = 1, & \text{рішення: сигнал присутній.} \end{cases}$

При цьому важливим є розроблення методу оптимального виявлення корисного сигналу, та який давав би можливість мінімізувати похибки такого виявлення та задовольняв критеріям оптимального виявлення (критерій Неймана-Пірсона, мінімального середнього ризику, ідеального спостерігача, максимальної правдоподібності тощо)

Література

1. Лезин Ю.С. Введение в теорию и технику радиотехнических систем. М: Радио и связь, 1986. –279с.