

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)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Оцінювання ефективності фільтрації аналогових сигналів методом
спектрального віднімання

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

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Дейдей Є.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Дедів І.Ю.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Хвостівська Л.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Дунець В.Л.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Стрембіцький М.О.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2021

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 Дейдею Євгенію Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Оцінювання ефективності фільтрації аналогових сигналів методом спектрального віднімання

Керівник роботи Дедів Ірина Юріївна, к.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.

Фільтрація аналогових сигналів методом спектрального віднімання.

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

Обробка сигналів. Класифікація сигналів. Задача очистки сигналів. Суть спектрального віднімання. Метод спектрального зважування. Системи придушення шуму в мовних сигналах.

Спектральне віднімання: базовий алгоритм. Типи методу спектрального віднімання.

Спектральні алгоритми субтрактивного типу. Співвідношення сигнал/шум.

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)

Дейдей Євгеній Олегович _____
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Дедів Ірина Юріївна _____
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Оцінювання ефективності фільтрації аналогових сигналів методом спектрального віднімання // Кваліфікаційна робота магістра // Дейдей Євгеній Олегович // ТНТУ, ФПТ, група РРм-61 // Тернопіль, 2021.

Ключові слова: СИГНАЛ, ФІЛЬТР, СПЕКТРАЛЬНЕ ВІДНІМАННЯ.

В кваліфікаційній роботі магістра розглянуто питання оцінювання ефективності фільтрації аналогових сигналів методом спектрального віднімання. Розглянуто задачу фільтрації акустичних, зокрема мовних сигналів. Проаналізовано метод спектрального віднімання та переваги його застосування до фільтрації мовних сигналів. Проаналізовано різновиди методу спектрального віднімання та встановлено їх недоліки. Проведено модифікацію алгоритму методу спектрального віднімання та оцінено ефективність його застосування до фільтрації мовних сигналів.

ANNOTATION

Evaluation of the efficiency of filtering analog signals by spectral subtraction //
Master's qualification work // Deidei Eugen Olegovich TNTU, FPT, group RRm-61 //
Ternopil, 2021.

Key words: SIGNAL, FILTER, SPECTRAL SUBTRACTION.

In the qualification work of the master the question of estimation of efficiency of filtering of analog signals by a method of spectral subtraction is considered. The problem of filtering acoustic, in particular speech signals is considered. The method of spectral subtraction and the advantages of its application to the filtering of speech signals are analyzed. Varieties of spectral subtraction method are analyzed and their shortcomings are established. The algorithm of the spectral subtraction method has been modified and the efficiency of its application to speech signal filtering has been evaluated.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	10
1.1. Обробка сигналів.....	10
1.2. Класифікація сигналів.....	11
1.3. Задача очистки сигналів.....	13
1.4. Суть спектрального віднімання.....	14
1.5. Метод спектрального зважування.....	15
1.6 Системи придушення шуму в мовних сигналах.....	18
1.7 Спектральне віднімання: базовий алгоритм.....	18
1.8 Висновки до розділу 1	22
РОЗДІЛ 2. ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	23
2.1 Типи методу спектрального віднімання.....	23
2.2. Спектральні алгоритми субтрактивного типу.....	27
2.3. Співвідношення сигнал/шум.....	35
2.4 Висновки до розділу 2	44
РОЗДІЛ 3. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	45
3.1. Модифікація алгоритму спектрального віднімання.....	45
3.2. Встановлення ділянок мовної активності.....	47
3.3. Оцінка діапазону потужності шуму.....	48
3.4. Реалізація алгоритму спектрального віднімання в Matlab.....	49
3.5 Оцінювання ефективності методу спектрального віднімання.....	51
3.6 Висновки до розділу 3	54
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	56
4.1 Охорона праці.....	56
4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	58

	7
4.3 Висновки до розділу 3.....	61
ВИСНОВКИ.....	62
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	64
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Актуальність роботи. Широке поширення комунікаційних пристроїв для аудіо- та відеозв'язку ставить перед розробниками подібних систем різноманітні завдання, одним з яких є усунення шуму у вхідному аудіопотоці. Мовні сигнали, зареєстровані в своїй природній акустичній обстановці, можуть містити значні спотворення, обумовлені фоновим шумом, голосами інших дикторів та ін. Наявність додаткового шуму часто заважає сприйняттю мовних повідомлень слухачем, а також значно ускладнює процес автоматичної обробки в таких задачах, як розпізнавання мови, ідентифікація диктора, модифікація мови у слухових апаратах, кодування тощо.

Пошук найбільш оптимального методу шумоочистки для того чи іншого виду завад повинен виконуватися при використанні об'єктивних і суб'єктивних оцінок. Більшість існуючих систем шумоподавлення працюють у частотній області, використовуючи варіації методу спектрального віднімання.

В методі спектрального віднімання робиться припущення, що спектр потужності зашумленого мовного сигналу дорівнює сумі спектра чистого сигналу і спектра некорельованого шуму. Базовий метод спектрального віднімання полягає у обчисленні спектра потужності для кожного сегмента вхідного сигналу, помноженого на віконну вагову функцію і віднімання спектра потужності отриманого спектра зашумленого сигналу. При цьому, оцінювання спектру потужності шуму проводиться для сегментів сигналу, у яких відсутня мова. Головна проблема такого методу придушення шуму полягає у тому, що у обробленому сигналі виникає «новий» шум. На слух цей шум сприймається як музичні тони, що мають хаотичний порядок. У літературі цей шум отримав назву «музичного шуму». Крім того, незважаючи на те, що

відбувається зменшення шуму, його значна частина залишається в обробленому сигналі.

В роботі проводиться модифікація методу спектрального віднімання при фільтрації мовних сигналів та оцінювання ефективності такого методу.

Мета і завдання дослідження. Модифікація методу спектрального віднімання при фільтрації мовних сигналів та оцінювання ефективності такого методу. Задачі:

- аналіз проблеми очищення від шумів мовних сигналів;
- аналіз методу спектрального віднімання та його модифікацій;
- аналіз недоліків існуючих модифікацій методу;
- модифікація методу спектрального віднімання та оцінювання його ефективності.

Об'єкт дослідження: процес фільтрації аналогових сигналів методом спектрального віднімання.

Предмет дослідження: оцінювання ефективності фільтрації аналогових сигналів методом спектрального віднімання.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані результати можуть бути використані для створення ефективних систем шумопониження аудіо сигналів в телекомунікаційних системах.

Наукова новизна. Запропоновано спосіб модифікації методу спектрального віднімання та оцінено його ефективність при фільтрації мовних сигналів.

Апробація результатів дослідження. Викладені в кваліфікаційній роботі результати доповідалися і обговорювалися на ІХ науково-технічній конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» (м. Тернопіль, 2021 р.).

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Обробка сигналів

Обробка сигналу — це просто маніпулювання властивостями конкретного сигналу для отримання сигналу з більш бажаними властивостями. Такі властивості, як амплітуда, фаза або частотний спектр, можуть бути змінені відповідно до певних вимог. У перші дні електронні інженери досягли обробки сигналів за допомогою дискретних апаратних компонентів, таких як резистори, конденсатори, котушки індуктивності, транзистори, діоди та інші напівпровідникові пристрої. У такому випадку сигнальна змінна, яка була безперервною з часом, використовувалася як вхід до апаратного пристрою, який створював нову версію змінної сигналу, де деякі властивості були змінені. При цифровій обробці сигналів процеси, які були досягнуті за допомогою апаратних засобів, здійснюються за допомогою програмного забезпечення.

Щоб обробляти змінні сигналу, які неперервні в часі, за допомогою програмного забезпечення, змінні необхідно конвертувати в правильний формат; зазвичай послідовність чисел. Це робиться за допомогою аналого-цифрових перетворювачів. Потім процесор буде маніпулювати сигналом у певний спосіб. Після проходження через процесори отриману послідовність чисел необхідно перетворити назад в аналогову за допомогою цифро-аналогових перетворювачів. На зорі цифрової обробки сигналів процесори були повільними, а застосування ЦОС було обмеженим. Сьогодні ми маємо дуже швидкі та енергоефективні процесори, що значно розширили застосування ЦОС.

Щоб зрозуміти цифрову обробку сигналу, важливо спочатку поглянути на класифікацію сигналів у часовій області.

1.2 Класифікація сигналів

Сигнали можна класифікувати з точки зору неперервності змінних в наступному вигляді:

(1) Аналоговий сигнал: змінні, що визначають сигнал, є безперервними за часом і амплітудою. Це означає, що для кожного вказаного екземпляра часу сигнал має задане значення амплітуди.

(2) Сигнал безперервного часу: змінна часу є безперервною в діапазоні, в якому визначено сигнал. Якщо сигнальна змінна представлена як x , змінна часу дорівнює t , такий сигнал позначається як $x(t)$.

(3) Сигнал дискретного часу: змінна часу є дискретною в діапазоні, в якому визначено сигнал. Якщо сигнальною змінною є x , а змінна часу була відібрана в моменти часу n , тоді сигнал позначається як $x(n)$. Сигнал дискретного часу також називають дискретованим сигналом, оскільки він отриманий шляхом безпосередньої дискретизації цільового сигналу. Слід зазначити, що амплітуда вибіркового сигналу може бути довільною в межах заданого діапазону амплітуд, і тому ми говоримо, що амплітуда дискретного сигналу є безперервною.

(4) Цифровий сигнал: це дискретний за часом і дискретний за амплітудою сигнал. Він представлений так само, як сигнал дискретного часу.

Сигнали також можна класифікувати з точки зору передбачуваності залежних змінних щодо незалежної змінної в такий спосіб:

(1) Детермінований сигнал, у якого залежна змінна передбачувана в кожне значення часу незалежної змінної. Детермінований сигнал може бути виражений явним математичним виразом.

(2) Випадковий сигнал має непередбачувану залежну змінну в кожне значення часу незалежної змінної. Цей сигнал описується з допомогою статистичних властивостей.

Усі наведені вище класифікації цифрових сигналів можна додатково класифікувати за їх розмірністю.

(1) Одновимірний сигнал має тільки одну незалежну змінну і одну залежну змінну. Сигнал з дискретним часом $x(n)$ є одновимірним сигналом, оскільки він має лише одну незалежну змінну, дискретний час (n) , і одну залежну змінну, амплітуду $x(n)$.

(2) Двовимірний сигнал має дві незалежні змінні та одну залежну змінну. Вибірки n і m відбираються в просторовій області. Двовимірний сигнал є дискретним у просторовій області у двовимірному. Незалежними змінними є n , m , які визначають залежну змінну $x(n,m)$. Хорошим прикладом є фотографічне зображення, де n,m визначають просторове розташування, а $x(n,m)$ визначає рівень сірого в цьому місці.

(3) Тривимірний сигнал має три незалежні змінні та одну залежну змінну. Сигнал дискретного часу $x(n,m,r)$ є тривимірним сигналом, оскільки він має дві незалежні змінні в просторовій області (n,m) і одну незалежну змінну r у часовій області. Три незалежні змінні визначають одну залежну змінну — інтенсивність $x(n,m,r)$. Прикладом тривимірного сигналу є відеосигнал, де сигнал у просторовому розташуванні (n,m) змінюється відносно часу r .

Залежно від типу сигналів, які обробляються, система може бути класифікована як аналогова, дискретна або цифрова. Аналогова система виробляє аналоговий сигнал з аналогового вхідного сигналу. З іншого боку,

дискретна або цифрова система може виробляти дискретний або цифровий сигнал із дискретного або цифрового сигналу. Однак система з дискретним часом або цифрова система може виробляти аналоговий сигнал з аналогового входу за допомогою АЦП і ЦАП.

Багато природних явищ виробляють аналогові сигнали, а процесори сигналів за своєю суттю є цифровими системами. Таким чином, для обробки аналогових сигналів за допомогою цифрових процесорів аналогові сигнали повинні бути перетворені в цифрові. Процес, у якому аналогові сигнали перетворюються в цифрові, включає вибірку та квантування. Пр цьому важливим є питання очистки від шумів як аналогових так і дискретних сигналів.

1.3 Задача очистки сигналів

Одним з ефективних підходів до задачі шумоочистки є використання методів параметричного моделювання для створення спеціальних шумів, що представляють собою суміш нестационарних періодичних і стохастичних складових, залежних від швидкості джерела шуму. Такого роду шуми створюються різними обертальними механізмами, такими як турбіни та двигуни внутрішнього згорання. Описуваний спосіб ґрунтується на спектральному відніманні, однак дозволяє врахувати нестационарну природу шуму. Загальнопринятий метод спектрального віднімання для таких шумів має лише обмежену цінність, оскільки оцінка СГП пов'язана зі швидкістю звороту та, таким чином, непереривно змінюється.

1.4 Суть спектрального віднімання

Широке поширення комунікаційних пристроїв для аудіо- та відеозв'язку ставить перед розробниками подібних систем різноманітних завдань, одним з яких є усунення шуму у вхідному аудіопотоці.

Задачі очистки мовних сигналів від адитивного шуму приділяється значна увага. Стійкий інтерес обумовлений широким кругом можливих змін і обмеженнями існуючих алгоритмів. Мовні сигнали, зареєстровані в своїй природній акустичній обстановці, можуть містити значущі спотворення, обумовлені фоновим шумом, голосами інших дикторів та ін. Наявність додаткового шуму часто заважає сприйняттю мовних повідомлень слухачем, а також значно ускладнює процес автоматичної обробки в таких задачах, як розпізнавання мови, ідентифікація диктора, модифікація мови у слухових апаратах, кодування тощо. Для підвищення працездатності відповідних алгоритмів обробки шумоподавлення має бути очищено від сторонніх шумів системами автоматичного шумоподавлення. Пошук найбільш оптимального методу шумоочистки для того чи іншого виду завад повинен виконуватися при використанні об'єктивних і суб'єктивних оцінок. На вибір алгоритму також впливає інтенсивність шуму, яка в залежності від додатків варіюється від екстремальної до помірної (співвідношення сигнал-шум — $10 < \text{SNR} < 20$ дБ).

Більшість існуючих систем шумоподавлення працюють у частотній області, використовуючи варіації методу спектрального зважування. Нажаль, його негативною особливістю є поява в реконструйованому мовному сигналі завад, відомих як «музичні тони». Було запропоновано багато підходів, щоб усунути цей феномен, включаючи підходи, засновані на сприйнятті людиною звукової інформації. Цікавим узагальненням методів спектрального зважування є обробка зашумленого мовного сигналу в підпросторах. Оцінка мови тут

розглядається як завдання оптимізації з обмеженнями, де визначення мовного сигналу мінімізується з урахуванням остаточної потужності шуму.

1.5 Метод спектрального зважування

Спектральне зважування являє собою метод відновлення спектральної густини потужності (СПП) або амплітудного спектру із сигналу, зареєстрованого з адитивним шумом, шляхом віднімання середньої оцінки спектру шуму. Спектр шуму зазвичай оцінюється і оновлюється в періоди, коли корисний сигнал відсутній, а присутній тільки шум. Шум має бути стаціонарним, або повільно змінним процесом, і не змінюватися істотно між періодами оновлення параметрів.

Модель зашумленого сигналу відображається в наступному вигляді:

$$y(m) = x(m) + n(m), \quad (1.1)$$

де $y(m)$ — зашумлений сигнал; $x(m)$ — чистий сигнал; $n(m)$ - шум; m — номер відліка. У частотній області модель сигналу описується таким чином:

$$Y(\omega) = X(\omega) + N(\omega), \quad (1.2)$$

де $Y(\omega)$ - ПФ зашумленого сигналу; $X(\omega)$ — ПФ вихідного чистого сигналу; $N(\omega)$ - ПФ шуму; ω — частота.

При спектральному відніманні вхідний сигнал розділяється на сегменти фіксованої довжини, зважується за допомогою віконної функції і переводиться в частотну область шляхом застосування ДПФ. Операція зважування віконною функцією описується в частотній області наступним чином:

$$Y_w(\omega) = W(\omega) \cdot Y(\omega) = X_w(\omega) + N_w(\omega). \quad (1.3)$$

Передбачається, що використовується сигнал, помножений на віконну функцію та показник w опускається. Спектральне зважування описується таким чином:

$$|\hat{X}(\omega)|^b = |Y(\omega)|^b - \alpha \overline{|N(\omega)|^b}, \quad (1.4)$$

де $|\hat{X}(\omega)|^b$ - отримана оцінка спектра вихідного чистого сигналу; $|X(\omega)|^b$, $\overline{|N(\omega)|^b}$ - середня по часу оцінка спектру шуму.

Передбачається, що шум є у широкому сенсі стаціонарним випадковим процесом. Для віднімання амплітудного спектру використовується b рівним одиниці, а для віднімання спектру потужності b є рівним двом. Параметр α визначає величину частини шуму, яка віднімається із зашумленого сигналу. Для повного віднімання $\alpha = 1$, а для віднімання з надлишком $\alpha > 1$ Середня оцінка спектра шуму обчислюється на фрагментах, де немає корисного сигналу, таким чином:

$$\overline{|N(\omega)|^b} = \frac{1}{K} \sum_{i=0}^{K-1} |N_i(\omega)|^b, \quad (1.5)$$

де $|N_i(\omega)|$ - спектр фрейма шуму з індексом i ; K - число кадрів де є тільки шум.

На практиці зручно оцінювати середній спектр шуму за допомогою експонентного усереднення:

$$\overline{|N_t(\omega)|^b} = \rho \overline{|N_t(\omega)|^b} + (1 - \rho) \overline{|N_t(\omega)|^b}, \quad (1.6)$$

де коефіцієнт усереднення ρ приймає значення діапазону від 0,85 до 0,99.

Для відновлення обробленого сигналу у часовій області оцінка амплітудного спектру $|\hat{X}(\omega)|$ об'єднується з фазовим спектром зашумленого сигналу і потім дискретно обчислюється ЗПФ:

$$\hat{x}(m) = \sum_{k=0}^{N-1} |\hat{X}(k)| e^{j\theta_Y(k)} e^{-j\frac{2\pi}{N}km}, \quad (1.7)$$

де $\theta_Y(k)$ - фаза частотної складової $Y(k)$ зашумленого сигналу; N - довжина кадру обробки.

Процедура відновлення сигналу допускає що адитивний шум спотворює, головним чином, амплітудний спектр, і що спотворення, що вносяться у фазовий спектр, є незначними.

Через варіації спектру шуму спектральне віднімання може призвести до негативних оцінок амплітудного спектра. Це особливо ймовірно при зниженні співвідношення сигнал-шум. Щоб уникнути появи негативних амплітудних значень, результат спектрального віднімання обробляється у вигляді використання функцій відображення такого виду:

$$T[|\hat{X}(\omega)|] = \begin{cases} |\hat{X}(\omega)|, & |\hat{X}(\omega)| > |Y(\omega)|, \\ \beta |Y(\omega)|, & |\hat{X}(\omega)| \leq |Y(\omega)|, \end{cases} \quad (1.8)$$

де β - масштабуючий коефіцієнт.

Спектральне віднімання можна застосовувати як до амплітудного спектру, так і спектру потужності.

1.6 Системи придушення шуму в мовних сигналах

Мета обробки мовного сигналу, записаного в умовах акустичного забруднення, полягає у підвищенні його якості шляхом зменшення фонового шуму без зниження розбірливості мовного повідомлення.

Найбільш поширеним методом придушення шуму є спектральне віднімання. Як і більшості методів поліпшення якості мовного сигналу, в методі спектрального віднімання робиться припущення, що спектр потужності зашумленого мовного сигналу дорівнює сумі спектра чистого сигналу і спектра некорельованого шуму. Це є обґрунтованим при аналізі спектра на коротких часових інтервалах (порядку 25 мс) і веде до побудови простого методу спектрального віднімання.

Базовий метод спектрального віднімання полягає у обчисленні спектра потужності для кожного сегмента вхідного сигналу, помноженого на віконну вагову функцію і віднімання спектра потужності отриманого спектра зашумленого сигналу. При цьому, оцінювання спектру потужності шуму проводиться для сегментів сигналу, у яких відсутня мова. Інформація про фазу частотних компонент для синтезу сигналу, очищеного від шуму, береться з ДПФ сегмента вихідного сигналу.

1.7 Спектральне віднімання: базовий алгоритм

Припустимо, що $x(n)$ — це сигнал у вигляді суміші мовного сигналу $s(n)$ і адитивного шумового сигналу $d(n)$, тобто:

$$x(n) = s(n) + d(n). \quad (1.9)$$

Застосовуючи ДПФ до правої та лівої частини виразу отримуємо

$$X(\omega) = S(\omega) + D(\omega). \quad (1.10)$$

Можна подати $X(\omega)$ у полярній системі координат

$$X(\omega) = |X(\omega)|e^{j\varphi_x(\omega)}, \quad (1.11)$$

де $|X(\omega)|$ і $\varphi_x(\omega)$ — амплітудний та фазовий спектри зашумленого сигналу, відповідно.

Спектр шуму $D(\omega)$ теж можна висловити в термінах амплітудного та фазового спектрів як $D(\omega) = |D(\omega)|e^{j\varphi_d(\omega)}$. Амплітудний спектр шуму $|D(\omega)|$ у загальному випадку невідомий, але може бути замінений своїм усередненим значенням, обчисленим за кадрами вхідного сигналу, у яких відсутня мова.

Подібним чином фазовий спектр шуму $\varphi_d(\omega)$ можна замінити фазовим спектром зашумленого мовлення $\varphi_x(\omega)$. Це тому, що зміна фази не впливає на розбірливість мови, а може лише мати вплив певною мірою на якість мовного сигналу. Після наведених замін можна записати вираз для оцінки спектра чистої мови:

$$\hat{S}(\omega) = (|X(\omega)| - |\hat{D}(\omega)|)e^{j\varphi_x(\omega)}, \quad (1.12)$$

де $|\widehat{D}(\omega)|$ - оцінка амплітудного спектра шуму, визначена під час мовленнєвих пауз.

Рівняння (1.4) дає уявлення про головний принцип методу спектрального віднімання. У більш загальній формі метод спектрального віднімання формулюється так:

$$|\widehat{S}(\omega)|^p = |X(\omega)|^p - |\widehat{D}(\omega)|^p, \quad (1.13)$$

де p - показник ступеня, при $p = 1$ вираз (1.13) визначає початковий метод спектрального віднімання. Часто в практичних додатках використовують показник $p = 2$. У цьому випадку (1.13) визначає правило віднімання спектрів потужності.

Необхідно відзначити, що права частина (1.13) може мати негативний знак, що є наслідком неточності оцінки спектра шуму. Проте амплітудне значення (чи потужність) може бути негативним числом, отже необхідно доповнити правило (1.13), щоб оцінка спектра чистої мови завжди мала невід'ємні значення. Введемо такі позначення:

$$P_{\widehat{s}}(\omega) = |\widehat{S}(\omega)|^2, \quad P_x(\omega) = |X(\omega)|^2, \quad P_{\widehat{d}}(\omega) = |\widehat{D}(\omega)|^2, \quad (1.14)$$

тоді модифіковане правило для віднімання спектрів потужності буде:

$$V(\omega) = P_x(\omega) - P_{\widehat{d}}(\omega), \quad (1.15)$$

$$P_{\widehat{s}}(\omega) = \begin{cases} V(\omega), & V(\omega) > 0 \\ 0, & V(\omega) \leq 0 \end{cases} \quad (1.16)$$

Очищений від шуму мовний сигнал виходить з $P'_s(\omega)$ шляхом ЗПФ:

$$\hat{s}(n) = \text{ОДПФ} \left\{ \sqrt{P'_s(\omega)} e^{j\varphi_x(\omega)} \right\}, \quad (1.17)$$

де $\varphi_x(\omega)$ — фазовий спектр вихідного фрагмента зашумленого сигналу

Головна проблема в описаному методі придушення шуму у тому, що у обробленому сигналі виникає «новий» шум. На слух цей шум сприймається як музичні тони, що мають хаотичний порядок. У літературі цей шум отримав назву «музичного шуму». Крім того, незважаючи на те, що відбувається зменшення шуму, його значна частина залишається в обробленому сигналі.

Метод спектрального віднімання спочатку розроблявся для очищення сигналу від білого шуму. Щоб пояснити природу музичного шуму, треба врахувати, що у спектрі білого шуму, обчисленого на короткому інтервалі часу, є локальні максимуми і мінімуми. Їх частотне положення та амплітуда є випадковими та змінюється випадковим чином для кожного наступного сегмента. Коли відбувається віднімання згладженої оцінки спектра шуму з поточного спектру, то локальні максимуми спектру зміщуються вниз, а в околиці мінімуму встановлюють значення нуля (мінус нескінченність на логарифмічній шкалі). Таким чином і після операції віднімання в спектрі шуму залишаються локальні максимуми. Найбільш широкі максимуми на слух сприймаються, як широкосмуговий шум, що змінюється. Вужчі спектральні максимуми, що володіють тривалістю і зміщуються по частоті утворюють спектральні "траси" і сприймаються, як змінні в часі тони, які називають музичним шумом.

1.8 Висновки до розділу 1

В розділі проаналізовано суть обробки сигналу, як маніпулювання властивостями конкретного сигналу для отримання сигналу з більш бажаними властивостями. Проаналізовано класифікацію сигналів та задачу очистки від шумів як аналогових так і дискретних сигналів, зокрема мовних. Мета обробки мовного сигналу, записаного в умовах акустичного забруднення, полягає у підвищенні його якості шляхом зменшення фонового шуму без зниження розбірливості мовного повідомлення.

Встановлено, що одним з ефективних підходів до задачі шумоочистки є використання методів параметричного моделювання для створення спеціальних шумів, що представляють собою суміш нестационарних періодичних і стохастичних складових, залежних від швидкості джерела шуму.

Проаналізовано один із таких методів, а саме метод спектрального зважування, що являє собою метод відновлення спектральної густини потужності (СГП) або амплітудного спектру із сигналу, зареєстрованого з адитивним шумом, шляхом віднімання середньої оцінки спектру шуму. Спектр шума зазвичай оцінюється і оновлюється в періоди, коли корисний сигнал відсутній, а присутній тільки шум. Шум має бути стаціонарним, або повільно змінним процесом, і не змінюватися істотно між періодами оновлення параметрів.

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Типи методу спектрального віднімання

Мовне спілкування — це обмін інформацією за допомогою мови між людьми або між людиною та машиною в різних сферах, наприклад, автоматичне розпізнавання мовлення та ідентифікація диктора. У багатьох ситуаціях мовні сигнали погіршуються через навколишні шуми, які обмежують ефективність спілкування. Основною метою покращення мовлення є зменшення спотворення бажаного мовного сигналу та покращення одного або кількох аспектів сприйняття мовлення, таких як якість та/або розбірливість. Ці два заходи не обов'язково співвідносяться. Тому підвищення якості мовлення не обов'язково призводить до покращення розбірливості.

Методи покращення мовлення можна розділити на одноканальні, двоканальні та багатоканальні. Незважаючи на те, що продуктивність багатоканального покращення мовлення є кращою, ніж покращення одноканального мовлення, одноканальне покращення мовлення все ще є важливою сферою дослідницького інтересу через його просту реалізацію та легкість обчислень. У одноканальних програмах доступний лише один мікрофон, а характеристика шуму витягується під час періодів пауз, що вимагає стаціонарного припущення щодо фонового шуму. Оцінити спектральну амплітуду даного шуму легше, ніж як амплітуди, так і фази. Виявлено, що короткочасна спектральна амплітуда (STSA) є важливішою за інформацію про фазу для якості та розбірливості мовлення.

На основі оцінки STSA, методика покращення одного каналу може бути поділена на 2 класи. Перший клас намагається оцінити короткочасну

спектральну величину мови, віднімаючи оцінку шуму. Шум оцінюється під час мовленнєвих пауз шумної мови. Другий клас застосовує спектральний фільтр віднімання (SSF) до шумної мови, щоб можна було отримати спектральну амплітуду розширеного мовлення. Принцип проектування полягає у виборі відповідних параметрів фільтра, щоб мінімізувати різницю між зашумленим мовленням і чистим мовленням. Ці два класи належать до сімейства спектральних алгоритмів субтрактивного типу.

Метод спектрального віднімання підсилення одноканального мовлення є найбільш широко використовуваним звичайним методом зменшення адитивного шуму. Запропоновано багато вдосконалень для вирішення проблем, які зазвичай пов'язані зі спектральним відніманням, таких як залишковий широкосмуговий шум і вузькосмуговий тональний шум, який називають музичним шумом. Інші варіанти спектрального віднімання включають спектральне надмірне віднімання, багатодіапазонне віднімання спектру, фільтрацію Вінера, ітераційне спектральне віднімання та спектральне віднімання на основі перцептивних властивостей.

Розглянемо шумовий сигнал, який складається з чистої мови, деградованої статистично незалежним адитивним шумом:

$$y[n] = s[n] + d[n] \quad (2.1)$$

де $y[n]$, $s[n]$ і $d[n]$ — вибіркова зашумлена мова, чиста мова та адитивний шум відповідно. Передбачається, що адитивний шум є шумом з нульовим середнім і не корелює з чистим мовленням. Оскільки мовний сигнал є нестационарним і варіюється в часі, шумовий мовний сигнал часто обробляється покaдрово. Їхнє представлення в області (STFT) задається як:

$$Y(\omega, k) = S(\omega, k) + D(\omega, k) \quad (2.2)$$

де k номер кадру.

Оскільки передбачається, що мова не корелює з фоновим шумом, короткочасний спектр потужності $y[n]$ не має перехресних членів. Отже,

$$|Y(\omega)|^2 = |S(\omega)|^2 + |D(\omega)|^2 \quad (2.3)$$

Мовлення можна оцінити шляхом віднімання оцінки шуму з прийнятого сигналу.

$$|\hat{S}(\omega)|^2 = |Y(\omega)|^2 - |\hat{D}(\omega)|^2 \quad (2.4)$$

Оцінка спектру шуму $|\hat{D}(\omega)|^2$ отримується шляхом усереднення кадрів останніх пауз мовлення:

$$|\hat{D}(\omega)|^2 = \frac{1}{M} \sum_{j=0}^{M-1} |Y_{SP_j}(\omega)|^2 \quad (2.5)$$

де M — кількість послідовних кадрів мовленнєвих пауз. Якщо фоновий шум є нерухомим, (5) сходиться до оптимальної оцінки спектру потужності шуму, оскільки береться більш довге середнє.

Спектральне віднімання також можна розглядати як фільтр, маніпулюючи (4) щоб виразити як добуток шумового мовного спектру та фільтра спектрального віднімання (SSF) як:

$$|\widehat{S}(\omega)|^2 = \left(1 - \frac{|\widehat{D}(\omega)|^2}{|Y(\omega)|^2}\right) |Y(\omega)|^2 \quad (2.6)$$

$$= H^2(\omega) |Y(\omega)|^2 \quad (2.7)$$

де $H(\omega)$ – функція підсилення та відомий спектральний фільтр віднімання (SSF). $H(\omega)$ являє собою фільтр нульової фази, з його амплітудною характеристикою в діапазоні $0 \leq H(\omega) \leq 1$.

$$H(\omega) = \left\{ \max \left(0, 1 - \frac{|\widehat{D}(\omega)|^2}{|Y(\omega)|^2} \right) \right\}^{1/2} \quad (2.8)$$

Для відновлення результуючого сигналу необхідна також оцінка фази мови. Поширеним методом оцінки фази є прийняття фази шумового сигналу як фази оціненого чистого мовного сигналу, виходячи з уявлення про те, що короткочасна фаза відносно неважлива для людського вуха. Тоді мовний сигнал у кадрі оцінюється як

$$\widehat{S}(\omega) = |\widehat{S}(\omega)| e^{j\angle Y(\omega)} = H(\omega) Y(\omega) \quad (2.9)$$

Розрахована форма сигналу мовлення відновлюється у часовій області шляхом ЗПФ $\widehat{S}(\omega)$ з використанням підходу накладання та додавання.

Метод спектрального віднімання, хоча значно зменшує шум, він має деякі серйозні недоліки. З (2.4) зрозуміло, що ефективність спектрального віднімання сильно залежить від точної оцінки шуму, що є складним завданням для досягнення в більшості умов. Коли оцінка шуму не є ідеальною, виникають дві основні проблеми: залишковий шум із музичною структурою та спотворення мови.

2.2 Спектральні алгоритми субтрактивного типу

Алгоритм спектрального віднімання — це сімейство різних варіантів методу спектрального віднімання, таких як спектральне надмірне віднімання, багатодіапазонне спектральне віднімання, фільтрація Вінера, ітераційне спектральне віднімання та спектральне віднімання на основі перцептивних властивостей. Таким чином, принцип спектральних алгоритмів субтрактивного типу полягає в тому, щоб оцінити короточасну спектральну величину мови шляхом віднімання розрахункового шуму із шумового спектру мовлення або шляхом множення спектру шумів на функції посилення та поєднання його з фазою шумної мови.

2.2.1. Надмірне спектральне віднімання

У цьому алгоритмі в метод спектрального віднімання вводяться два додаткові параметри: коефіцієнт надмірного віднімання та рівень спектра шуму для зменшення залишкового шуму. Алгоритм подається так

$$|\hat{S}(\omega)|^2 = \begin{cases} |Y(\omega)|^2 - \alpha |\hat{D}(\omega)|^2, & \text{if } |Y(\omega)|^2 > (\alpha + \beta) |\hat{D}(\omega)|^2 \\ \beta |\hat{D}(\omega)|^2 & \text{else} \end{cases} \quad (2.10)$$

$$\text{з } \alpha \geq 1 \text{ і } 0 \leq \beta \ll 1.$$

Коефіцієнт надмірного віднімання контролює кількість спектру потужності шуму, що віднімається від спектру потужності шумової мови в кожному кадрі, а параметр спектрального рівня запобігає опусканню результуючого спектру нижче попередньо встановленого мінімального рівня, а не встановлення на нуль (спектральний рівень). Коефіцієнт надмірного віднімання можна розрахувати як

$$\alpha = 4 - \frac{3}{20} \text{SSNR}, \text{ if } -5 \leq \text{SSNR} \leq 20 \quad (2.11)$$

$$\text{SSNR} = \left(\frac{\sum_{k=0}^{NF-1} |Y(\omega)|^2}{\sum_{k=0}^{NF-1} |\widehat{D}(\omega)|^2} \right) \quad (2.12)$$

Тут NF - кількість кадрів у сигналі.

Ця реалізація передбачає, що шум впливає на спектр мовлення рівномірно, а коефіцієнт віднімання віднімає завищену оцінку шуму від шумового спектру. Таким чином, для балансу між фоновим шумом і видаленням залишкового шуму, різні комбінації коефіцієнта надмірного віднімання α , і параметр спектрального поперу β призводять до компромісу між кількістю фонового шуму, що залишився, і рівнем сприйнятого залишкового шуму. Для великих значень β , спектральний рівень високий і дуже незначний, якщо чути якийсь залишковий шум, тоді як при невеликому β , фоновий шум значно зменшується, але залишковий шум стає досить дратівливим. Отже, відповідне значення α задається як (2.11) і $\beta = 0.03$

Цей алгоритм деякою мірою зменшує шум, але залишковий шум не усувається повністю, що впливає на якість мовного сигналу. Крім того, алгоритм передбачає, що шум однаково впливає на весь спектр мовлення. Отже, він використовує єдине значення коефіцієнта надмірного віднімання для всього спектру мовлення. Тому посилене мовлення спотворюється.

2.2.2. Багатодіапазонне спектральне віднімання

Шум реального світу переважно кольоровий і впливає на мовний сигнал по-різному в усьому спектрі. Це показано на рис. 2.1, який є графіком SSNR для рівномірно розташованих смуг частот, що не перекриваються. Цей малюнок показує, що SSNR для діапазонів низьких частот (діапазон 1) значно

вище, ніж SSNR для діапазонів вищих частот (діапазон 4). Тому проводиться використання частотно-залежного коефіцієнта віднімання для обліку різних типів шуму. Ідея нелінійного спектрального віднімання (NSS) в основному розширює цю можливість, роблячи коефіцієнт надмірного віднімання залежним від частоти, а процес віднімання є нелінійним. Більші значення віднімаються на частотах з низьким рівнем SNR, а менші значення віднімаються на частотах з високим рівнем SNR. Звичайно, це дає більшу гнучкість у компенсації похибок при оцінці енергії шуму в різних частотних смугах.

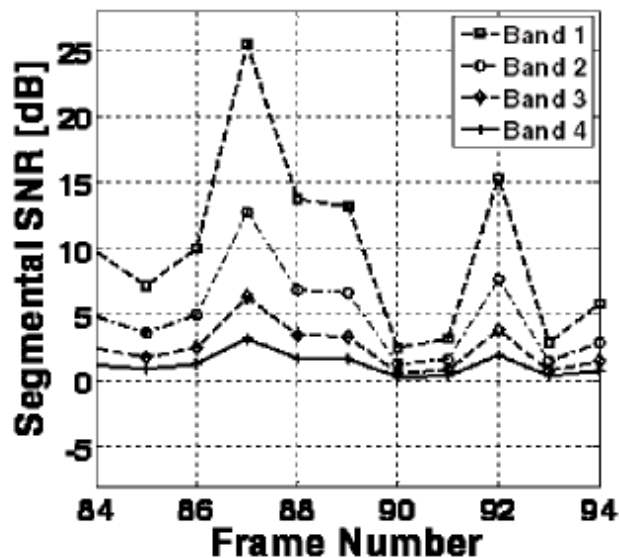


Рис. 2.1. Сегментний SNR

Розглянемо рівномірно розподілений по частоті багатодіапазонний підхід до спектрального віднімання. У цьому алгоритмі мовний спектр розбивається на чотири рівномірно розташованих частотні смуги, а спектральне віднімання виконується незалежно в кожній смузі. Алгоритм повторно налаштовує коефіцієнт надмірного віднімання в кожній смузі на основі SSNR. Отже, оцінку спектру амплітуди чистого мовлення в смузі отримують:

$$|\widehat{S}_i(\omega)|^2 = \begin{cases} |Y_i(\omega)|^2 - \alpha_i \delta_i |\widehat{D}_i(\omega)|^2, & \text{if } |\widehat{S}_i(\omega)|^2 > 0 \text{ } k_i < \omega < k_{i+1} \\ \beta |Y_i(\omega)|^2 & \text{else} \end{cases} \quad (2.13)$$

де k_i і k_{i+1} є початковим і кінцевим частотним біном, i^{th} смуга частот, α_i є коефіцієнтом надмірного віднімання смуги i^{th} . Діапазон, який є функцією SSNR i^{th} смуги частот. SSNR i^{th} смугу частот можна розрахувати як

$$\text{SSNR}_i(\omega) = \left(\frac{\sum_{\omega=k_i}^{k_{i+1}} |Y_i(\omega)|^2}{\sum_{\omega=k_i}^{k_{i+1}} |\widehat{D}_i(\omega)|^2} \right) \quad (2.14)$$

Питоме віднімання смуги можна можна обчислити як

$$\alpha_i = \begin{cases} 5, & \text{if } \text{SNR}_i \leq -5 \\ 4 - \frac{3}{20} \text{SSNR}_i, & \text{if } -5 \leq \text{SNR}_i \leq 20 \\ 1, & \text{if } \text{SNR}_i > 20 \end{cases} \quad (2.15)$$

де δ_i додатковий коефіцієнт віднімання діапазону, який можна індивідуально налаштувати для кожного діапазону частот, щоб налаштувати процес видалення шуму та забезпечити додатковий ступінь контролю над рівнем віднімання шуму в кожній смузі.

Значення δ_i емпірично обчислюється і встановлюється так:

$$\delta_i = \begin{cases} 1, & f_i \leq 1 \text{ kHz} \\ 2.5, & 1 \text{ kHz} < f_i \leq \frac{f_s}{2} - 2 \text{ kHz} \\ 1.5, & f_i > \frac{f_s}{2} - 2 \text{ kHz} \end{cases} \quad (2.16)$$

Тут f_i є верхньою межею частоти i^{th} , f_s – частота дискретизації. Мотивація використання менших значень для діапазонів низьких частот полягає в тому, що необхідно мінімізувати спотворення мови, оскільки більшість мовної енергії присутня на нижчих частотах. Обидва фактори, f_i і δ_i можна налаштувати для кожного діапазону для різних умов мовлення, щоб отримати кращу якість мовлення.

Оскільки реальний шум має дуже випадковий характер, необхідно вдосконалити алгоритм MBSS для зменшення WGN. Виявлено, що алгоритм MBSS працює краще, ніж інші алгоритми субтрактивного типу.

2.2.3. Фільтр Вінера

Фільтр Вінера (WF) є оптимальним фільтром, який мінімізує критерій середньоквадратичної помилки. Тут передбачається, що мова і шум підкоряються нормальному розподілу і не корелюють. Функція підсилення WF, $H_{\text{wiener}}(\omega)$, може бути виражена через спектральну щільність потужності чистої мови та спектральну щільність потужності шуму $P_d(\omega)$ як:

$$H_{\text{wiener}}(\omega) = \frac{P_s(\omega)}{P_s(\omega) + P_d(\omega)} \quad (2.17)$$

Слабким недоліком WF є фіксована функція підсилення на всіх частотах і вимога оцінити спектральну щільність потужності сигналу та шуму перед фільтрацією. Таким чином, WF не може бути використаний безпосередньо для оцінки чистого мовлення, оскільки мова не може вважатися нерухомою. Отже, адаптивна реалізація WF може бути використана для наближення (2.17) як

$$H_{A. \text{wiener}}(\omega) = \frac{|\widehat{S}(\omega)|^2}{|Y(\omega)|^2} \quad (2.18)$$

$$|\widehat{S}(\omega)|^2 = H_{A. \text{wiener}}(\omega)|Y(\omega)|^2 \quad (2.19)$$

$H_{A. \text{wiener}}(\omega)$ послаблює кожную частотну складову на певну величину в залежності від потужності шуму на частоті.

Якщо $|\widehat{D}(\omega)|^2 = 0$, тоді $H_{A. \text{wiener}}(\omega) = 1$ і загасання не відбувається, тоді як якщо $|\widehat{D}(\omega)|^2 = |Y(\omega)|^2$, тоді $H_{A. \text{wiener}}(\omega) = 0$. Тому частотна складова повністю обнуляється. Усі інші значення $H_{A. \text{wiener}}(\omega)$ масштабують потужність сигналу на відповідну величину.

На порівнянні $H(\omega)$ і $H_{A. \text{wiener}}(\omega)$ з (2.8) і (2.18), можна помітити, що WF заснований на ансамблевих усереднених спектрах сигналу і шуму, тоді як SSF використовує миттєві спектри для шумового сигналу і бігове середнє (усереднені за часом спектри) шуму. У теорії WF операції усереднення беруться за ансамблем різної реалізації процесів сигналу та шуму. У спектральному відніманні ми маємо доступ лише до єдиної реалізації процесу.

Використання спектру потужності шумної мови замість чистої мови для розрахунку функції підсилення погіршує точність WF. Для вирішення цієї проблеми використовується ітераційний алгоритм.

2.2.4. Ітераційне спектральне віднімання

Запропоновано алгоритм ітераційного спектрального віднімання (ISS), в якому мотивовано з WF, для придушення залишкового шуму. У цьому алгоритмі вихідний сигнал розширеного мовлення використовується як вхідний сигнал для наступного процесу ітерації. Як і після процесу спектрального віднімання, тип адитивного шуму перетворюється на шум

залишку, а вихідний сигнал використовується як вхідний сигнал наступного ітераційного процесу. Залишковий шум повторно оцінюється, і цей новий оцінений шум, крім того, використовується для обробки наступного процесу спектрального віднімання. В такий спосіб можна отримати покращений вихідний мовний сигнал, і процес ітерації продовжується. Якщо розглядати процес оцінки шуму та спектрального віднімання як фільтр, то відфільтрований вихід використовується не тільки для проектування фільтра, а й як вхід для наступного ітераційного процесу.

Більше того, число ітерацій є найважливішим фактором цього алгоритму, який впливає на продуктивність системи покращення мовлення. Таким чином, більше число ітерацій відповідає кращому покращенню мовлення з меншим залишковим шумом.

Спектральне віднімання на основі перцептивних властивостей

Основною слабкістю спектрального віднімання є те, що воно використовує фіксовані значення параметрів віднімання, які не можуть адаптувати змінні рівні шуму та характеристики шуму. Однак оптимізація параметрів – завдання не з легких, оскільки спектр більшості шумів, доданих у мовленні, не є плоским. Прикладом адаптації є багатодіпазонне спектральне віднімання, яке адаптує субтрактивні параметри за часом і частотою на основі SSNR, що призводить до покращення результатів, але залишковий шум не пригнічується повністю при низьких SNR. Тому вибір відповідного значення субтрактивних параметрів є основним завданням в алгоритмах субтрактивного типу для посилення шумного мовлення.

Спектральне віднімання на основі перцептивних властивостей було досліджено для покращення розбірливості та якості мовних сигналів. Маскуючі властивості слухової системи людини включені в процес посилення, щоб послабити компоненти шуму, які вже не чутні через маскування. В алгоритмі параметри віднімання адаптуються на основі

властивостей маскування. Властивості маскування моделюються шляхом розрахунку порога маскування шуму. Людина-слухач переносить адитивний шум, поки він залишається нижче цього порогу. Адаптація параметрів віднімання здійснюється відповідно до співвідношень

$$\alpha = \begin{cases} \alpha_{\max}, & \text{if } T(\omega) = T(\omega)_{\min} \\ \alpha_{\min}, & \text{if } T(\omega) = T(\omega)_{\max} \\ \alpha_{\max} \left(\frac{T(\omega)_{\max} - T(\omega)}{T(\omega)_{\max} - T(\omega)_{\min}} \right) + \alpha_{\min} \left(\frac{T(\omega) - T(\omega)_{\min}}{T(\omega)_{\max} - T(\omega)_{\min}} \right), & \text{if } T(\omega) \in [T(\omega)_{\min}, T(\omega)_{\max}] \end{cases} \quad (2.20)$$

$$\beta = \begin{cases} \beta_{\max}, & \text{if } T(\omega) = T(\omega)_{\min} \\ \beta_{\min}, & \text{if } T(\omega) = T(\omega)_{\max} \\ \beta_{\max} \left(\frac{T(\omega)_{\max} - T(\omega)}{T(\omega)_{\max} - T(\omega)_{\min}} \right) + \beta_{\min} \left(\frac{T(\omega) - T(\omega)_{\min}}{T(\omega)_{\max} - T(\omega)_{\min}} \right), & \text{if } T(\omega) \in [T(\omega)_{\min}, T(\omega)_{\max}] \end{cases} \quad (2.21)$$

Тут α_{\max} , α_{\min} , β_{\max} , β_{\min} and $T(\omega)_{\max}$, $T(\omega)_{\min}$ – найбільше і найменше значення α , β і оновлений поріг маскування $T(\omega)$ відповідно. З (20) і (21) видно, що α , β досягає максимального та мінімального значень, коли $T(\omega)$ зрівняє його найбільше і найменше значення. Поріг маскування шуму можна розрахувати з розширеного мовлення.

Перцептивна оцінка якості сигналу (PESQ) є об'єктивним показником якості, призначеним для прогнозування суб'єктивної оцінки погіршеного аудіосемпера, і рекомендована ІТУ-Т для оцінки якості голосового сигналу. У вимірюванні PESQ опорний сигнал і оброблений сигнал спочатку вирівнюються за часом і рівнем. Повідомлялося, що показник PESQ сильно корелює з тестами суб'єктивного прослуховування в 22 для великої кількості умов тестування. PESQ є одним із найкращих показників якості сигналу.

Як правило, спектральні алгоритми субтрактивного покращення мови викликають два основних небажаних ефекти: залишковий шум і спотворення мови. Ці два ефекти можуть дратувати слухача і спричинити втому слухача. Однак їх

важко визначити кількісно. Тому важливо проаналізувати частотно-часовий розподіл посиленого мовлення, зокрема музичну структуру його залишкового шуму. Спектрограма мовлення є хорошим інструментом для виконання цієї роботи, оскільки вона може дати більш точну інформацію про залишковий шум і спотворення мови, ніж відповідні сигнали часової області.

Найкращі результати були отримані при спектральному відніманні з перцептивними властивостями. У випадку цього типу алгоритму субтрактивного типу залишається невелика кількість залишкового шуму, але цей шум має якість сприйняття білого кольору, і спотворення залишається прийнятним. Неформальні тести на аудіювання також показали, що розширена мова за допомогою алгоритму SSPP є більш приємною, залишковий шум краще зменшується та з мінімальними, якщо такі є, спотвореннями мови.

Для оцінювання ефективності потрібно застосувати критерій, який давав би ізначити степінь наближення отриманого результату фільтрації до ідеального чи очікуваного. До такого критерію можна віднести значення співвідношення сигнал-шум до та після фільтрації. Проаналізуємо суть цього співвідношення.

2.3 Співвідношення сигнал/шум

Одним із фундаментальних понять в задачі виявлення сигналів на фоні шумів є співвідношення сигнал/шум. Тому розглянемо фізичний сенс цього поняття відносно процесів на вході та виході спектроаналізатора.

Нехай на вхід спектроаналізатора (рис.2.2)



Рис.2.2. Процеси на вході та виході спектроаналізатора

подається суміш гармонічного сигналу з шумом:

$$\xi(t) = s(t) + n(t),$$

$$s(t) = A \cos(\omega_0 t + \varphi),$$

де A і ω_0 - детерміновані амплітуда і частота, φ - випадкова фаза, рівномірно розподілена на інтервалі $[0, 2\pi]$; $n(t)$ - обмежений за частотою білий шум із одностороннім спектром потужності:

$$G(f) = \begin{cases} N_0, & 0 \leq f \leq B; \\ 0, & \text{дп.} f \end{cases}$$

Співвідношення сигнал-шум на вході спектроаналізатора визначено як відношення середніх потужностей (дисперсій) сигналу та шуму:

$$(c/n)_{\text{ex}} = \frac{A^2/2}{BN_0}.$$

Для $(c/n)_{\text{ex}} = 1$ сигнал на вході спектроаналізатора має вид, зображений на рис.2.3 (графік побудованих засобів програми SpectraLab).

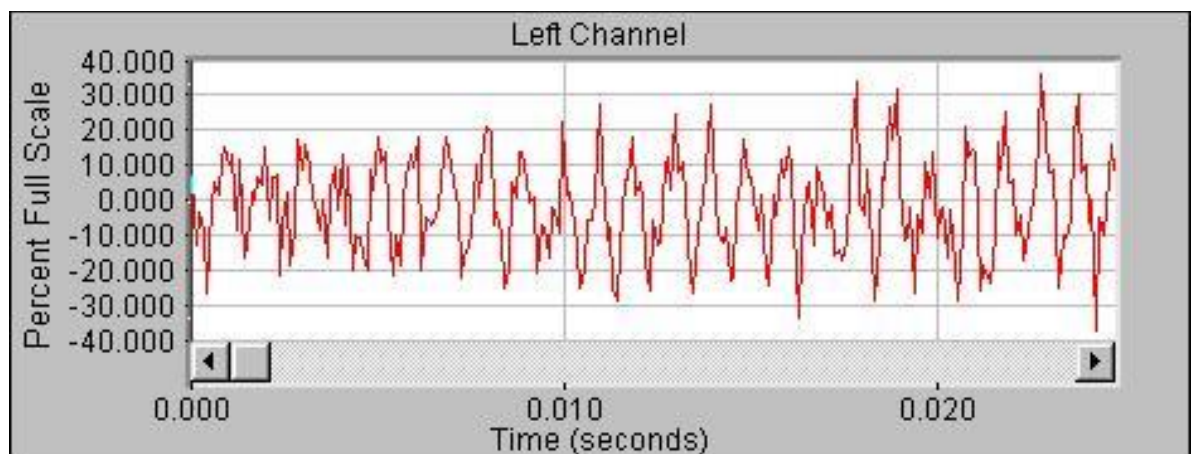


Рис.2.3 Сигнал на вході спектроаналізатора

Що буде спостерігатися на виході спектроаналізатора?

Спочатку покладається, що існує якийсь «ідеальний» спектроаналізатор, який працює із сигналами безкінечної протяжності і дає нам абсолютно точні значення спектрів потужностей аналізованих сигналів. Тоді односторонній спектр гармонічного сигналу буде мати вид:

$$G(f) = \frac{\langle A^2 \rangle}{2} \delta(f - f_0), \quad (2.22)$$

а односторонній спектр завади у вигляді обмеженого за частотою БШ:

$$G(f) = \begin{cases} N_0, & 0 \leq f \leq B; \\ 0, & \text{дп.} f \end{cases}, \quad (2.23)$$

У силу статистичної незалежності сигналу та завади, взаємодіючий спектр потужностей суми сигналу з шумом являє собою сумму відповідних спектрів доданків:

$$G(f) = \begin{cases} \frac{A^2}{2} \delta(f - f_0) + N_0, & f \leq B, \\ 0, & f > B \end{cases}.$$

Графічно це виглядає так:

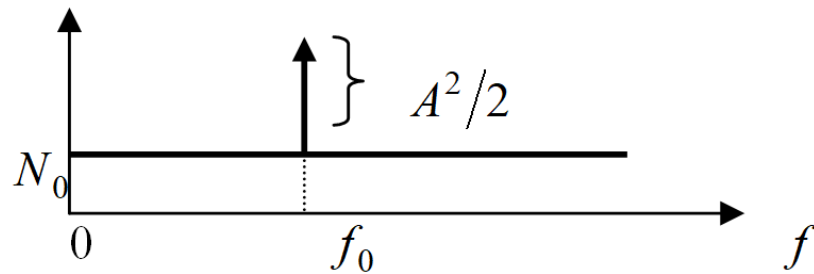


Рис. 2.4. Графік суми спектрів доданків

Тобто, на частоті f_0 на п'єдесталі заввишки N_0 встановлений відрізок нескінченно великої висоти. Коли як співвідношення сигнал-шум на виході спектроаналізатора прийняти відношення спектральних щільностей потужності гармонійного сигналу та білого шуму (на частоті f_0), тоді приходимо до висновку, що співвідношення сигнал-шум на виході спектроаналізатора в даному випадку рівне нескінченності. "Винна" в цьому δ - функція Дірака, що має нескінченно велику амплітуду. А ще точніше – винна нескінченна протяжність інтервалу спостереження сигналу, що можливо лише теоретично.

Обмежимо час спектрального аналізу, тобто будемо аналізувати ситуацію за допомогою не самих спектрів, а з допомогою їх оцінок, що цілком відповідає ситуації практичних вимірів, - тоді будуть отримані інші, більш зрозумілі і прийнятні для інженерного аналізу результати.

Отже, припустимо, що спектроаналізатор реалізує обчислення сирої періодограми

$$\bar{P}_2(f) = \frac{1}{T} |F(f, T)|^2,$$

де T - кінцевий час аналізу.

Математичне очікування сирої періодограми:

$$\langle \bar{P}_2(f) \rangle = P(f) \otimes T \text{Sa}^2(\pi f T). \quad (2.24)$$

Для гармонійного сигналу з детермінованою амплітудою

$$P_c(f) = \frac{A^2}{4} [\delta(f + f_0) + \delta(f - f_0)] \quad , \quad (2.25)$$

Тому

$$\langle \bar{P}_c(f) \rangle = \frac{A^2 T}{4} \{ \text{Sa}^2[\pi(f - f_0)T] + \text{Sa}^2[\pi(f + f_0)T] \}.$$

МС оцінки фізичного спектра:

$$\langle \bar{G}_c(g) \rangle = \frac{A^2 T}{2} \text{Sa}^2[\pi(f - f_0)T] = E \text{Sa}^2[\pi(f - f_0)T],$$

де $E = \int_{-T/2}^{T/2} A^2 \cos^2 \omega_0 t dt = \frac{A^2 T}{2}$ - енергія відрізка гармонійного сигналу

Для обмеженого за частотою БШ очевидно,

$$\langle \bar{P}_u(f) \rangle = P_u(f) \otimes T \text{Sa}^2(\pi f T) = \frac{N_0}{2}, \quad -B < f < B,$$

Або

$$\langle \bar{G}_u(f) \rangle = N_0, \quad 0 < f < B.$$

Таким чином, співвідношення сигнал-шум на виході спектроаналізатора, що обчислює сиру періодограму:

$$(c/n)_{\text{вих}} = \frac{E}{N_0} = \frac{A^2 T}{2N_0}.$$

Коректніше, однак, під завадою мати на увазі не спектральну щільність N_0 , як це було зроблено вище з міркувань наочності, а стандартне відхилення оцінки спектра перешкод. Бо коли йдеться про практичні виміри, доводиться згадати, що періодограма - дуже погана оцінка спектра в тому сенсі, що її відносна дисперсія стає рівною 1. Отже, справа не у висоті «п'єдесталу», а в тому, що зі зростанням «п'єдесталу» збільшується і розмах випадкових флуктуацій цього п'єдесталу, який із рівної «полочки» перетворюється на частокіл хаотичних зубців. Саме з зазначених міркувань у теорії оптимального виявлення сигналів на тлі перешкод співвідношення сигнал-шум на виході спектроаналізатора визначають як приріст математичного очікування спектральної оцінки до стандартного відхилення цієї оцінки на частоті f_0 .

Таким чином, виграш щодо співвідношення сигнал-перешкода, який забезпечує спектроаналізатор:

$$\text{Вигр} = \frac{(c/n)_{\text{вих}}}{(c/n)_{\text{вх}}} = BT.$$

Важливо пов'язати цей виграш із таким параметром цифрового спектроаналізатора, як $N_{\text{шпф}}$. Вважаючи, що частота дискретизації обрано Котельникову, тобто $F_0 = 2B$, отримуємо

$$V_{изр} = \frac{N_{шпф}}{2}.$$

Цей результат дуже просто пояснити "інженерною мовою": потужність гармонійного сигналу зосереджена в одному спектральному відліку (якщо частота гармоніки потрапляє у вузол сітки частот), а потужність білого шуму рівномірно розподіляється по $N_{шпф}/2$ спектральним відлікам. Тому якщо на вході спектроаналізатора потужності гармоніки та обмеженого за частотою білого шуму однакові, на виході спектроаналізатора (тобто "у спектральній області") на частоті f_0 потужність гармонійного сигналу буде в $N_{шпф}/2$ більше потужності спектральної складової шуму (див. рисунок):

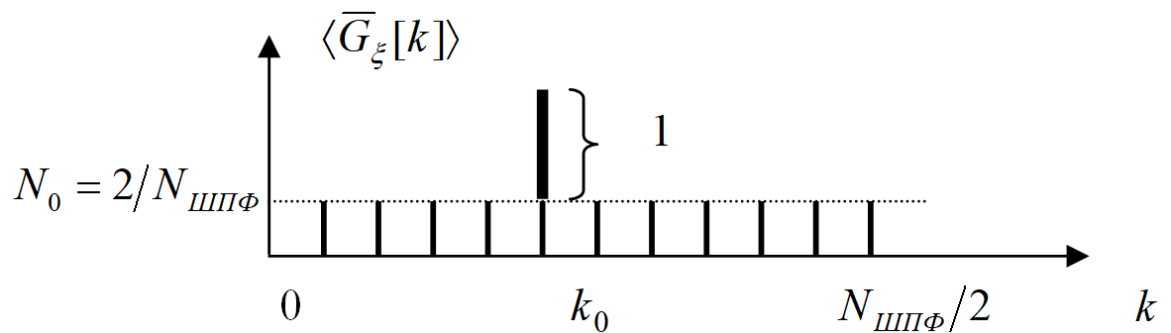


Рис. 2.5. Графік потужності гармонійного сигналу

Вид оцінки спектру суміші сигналу з шумом для випадку $(c/n)_{ex} = 1$ і $N = 1024$ показано на рис.2.6.

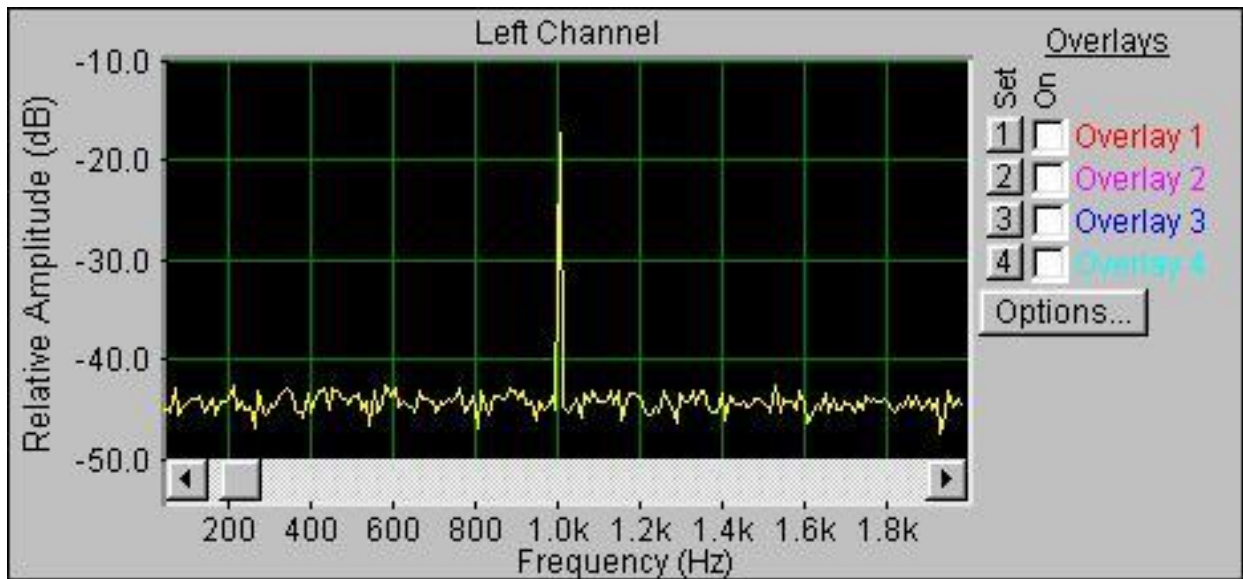


Рис.2.6. Вид оцінки спектру суміші сигналу з шумом

Неважко бачити, що виграш щодо співвідношення сигнал-перешкода у разі близький до теоретичного значення 27дБ. (Зауважимо, що для придушення флуктуацій оцінки спектра шуму використано усереднення досить великої кількості сирих періодограм).

В теорії оптимального виявлення як базове поняття “співвідношення сигнал-шум на виході оптимального виявника” зазвичай використовують величину

$$q^2 = \frac{2E}{N_0}.$$

Ця обставина може викликати деяке здивування – адже у нас вийшло вдвічі менше. Проте все стає "на свої місця", якщо врахувати що величина q^2 отримана для випадку виявлення точно відомого сигналу - у цьому випадку спектроаналізатор одноканальний, що обчислює тільки косинус-перетворення Фур'є (при виявленні відрізка косинусоїди). При оптимальному виявленні гармонійного сигналу з невідомою початковою фазою потрібен двоканальний спектроаналізатор, що відповідає комплексному "нормальному" ПФ. При

цьому, як відомо, завадостійкість такої системи виявлення рівно в 2 рази гірша за одноканальну систему - через підсумовування некорельованої перешкоди по двох каналах.

Цікаво, що “проблеми” з числовим значенням відношення сигнал-перешкода можливі і при використанні корелограмного методу оцінювання спектра, якщо оцінкою кореляційної функції береться незміщена оцінка.

Справді, математичне очікування незміщеної оцінки кореляційної функції відрізка гармонійного сигналу має вигляд:

$$\langle \bar{K}_c(\tau) \rangle = K_c(\tau) \text{rect}\left(\frac{\tau}{2T}\right) = \frac{A^2}{2} \cos \omega_0 \tau.$$

Отже, МС сирої періодограми гармонійного сигналу:

$$\langle S_c(f) \rangle = S_c(f) \otimes 2TSa(2\pi fT) = \frac{A^2 T}{2} [Sa(2\pi(f - f_0)T) + Sa(2\pi(f + f_0)T)]$$

$$\langle G_c(g) \rangle = 2ESa[2\pi(f - f_0)T].$$

Таким чином, отримуємо:

$$(c/n)_{\text{вих}}^2 = \frac{2E}{N_0},$$

що у два рази більше, ніж при використанні оцінки у вигляді сирої періодограми.

2.4 Висновки до розділу 2

Метод спектрального віднімання одноканального мовлення є найбільш широко використовуваним звичайним методом зменшення адитивного шуму. Запропоновано багато вдосконалень для вирішення проблем, які зазвичай пов'язані зі спектральним відніманням, таких як залишковий широкосмуговий шум і вузькосмуговий тональний шум, який називають музичним шумом.

Метод спектрального віднімання, хоча значно зменшує шум, він має деякі серйозні недоліки. Ефективність спектрального віднімання сильно залежить від точної оцінки шуму, що є складним завданням для досягнення в більшості умов. Коли оцінка шуму не є ідеальною, виникають дві основні проблеми: залишковий шум із музичною структурою та спотворення мови.

Алгоритм спектрального віднімання — це сімейство різних варіантів методу спектрального віднімання, таких як надмірне спектральне віднімання, багатодіапазонне спектральне віднімання, фільтрація Вінера, ітераційне спектральне віднімання та спектральне віднімання на основі перцептивних властивостей. Таким чином, принцип спектральних алгоритмів субтрактивного типу полягає в тому, щоб оцінити короткочасну спектральну величину мови шляхом віднімання розрахункового шуму із шумового спектру мовлення або шляхом множення спектру шумів на функції підсилення та поєднання його з фазою шумової мови.

Для оцінювання ефективності потрібно застосувати критерій, який давав би можливість визначити степінь наближення отриманого результату фільтрації до ідеального чи очікуваного. До такого критерію можна віднести значення співвідношення сигнал-шум до та після фільтрації. Проаналізуємо суть цього співвідношення.

РОЗДІЛ 3

НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1 Модифікація алгоритму спектрального віднімання

Модифікація методу спектрального віднімання полягає в мінімізації вузькосмугових спектральних піків (максимумів), що сприймаються на слух, шляхом укорочування їх спектральних «трас». Це досягається шляхом зміни алгоритму (1.7) - (1.8) наступним чином:

$$V(\omega) = P_x(\omega) - \alpha P_{\hat{a}}(\omega), \quad (3.1)$$

$$P_{\hat{s}}(\omega) = \begin{cases} V(\omega), & \text{якщо } V(\omega) > \beta P_{\hat{a}}(\omega), \\ \beta P_{\hat{a}}(\omega), & \text{інакше} \end{cases} \\ \alpha \geq 1, \quad \text{і } 0 < \beta \ll 1, \quad (3.2)$$

де β - параметр, який визначає спектральний мінімум шуму. Схема модифікованого методу показана на рис. 3.1.

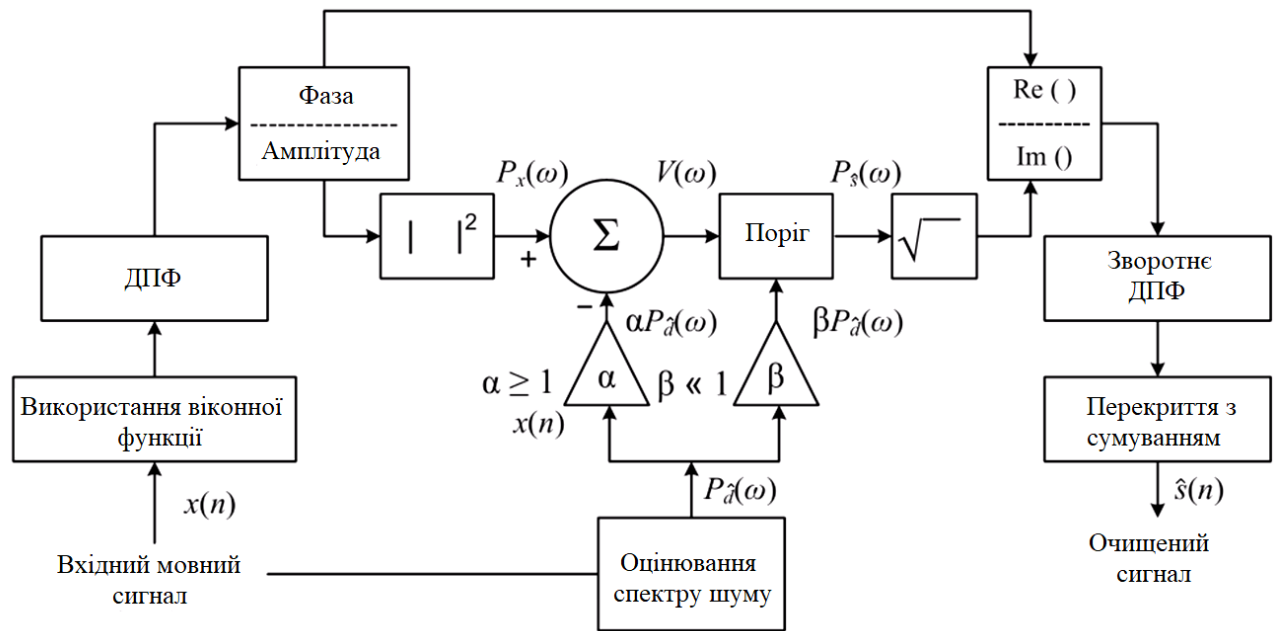


Рис.3.1. Модифікований метод спектрального віднімання з обмеженням спектрального мінімуму шуму

Необхідно відзначити, що модифікований метод (3.1) - (3.2) повністю повторює (1.7) - (1.8) для значень $\alpha = 1$; $\beta = 0$.

З (3.1) - (3.2) можна вважати, що цілі зменшення шумових спектральних піків можна досягти, якщо вибрати $\alpha > 1$, оскільки в цьому випадку залишки піків будуть нижчими щодо випадку, коли $\alpha = 1$. Також при $\alpha > 1$ віднімання може видалити практично весь широкосмуговий шум шляхом видалення більшості широких піків. Однак цього недостатньо, оскільки глибокі мінімуми, які знаходяться поблизу вузьких піків, залишаються в спектрі шуму і тому «траси» спектральних піків залишаються тривалими. Друга частина модифікації (3.2) полягає у заповненні областей мінімуму, що робиться шляхом додавання спектрального порога $\beta P_d(\omega)$: не допускається зниження рівня спектральних компонент $P_s(\omega)$ нижче за порогове значення $\beta P_d(\omega)$. Для $\beta > 0$ області мінімуми між піками не такі глибокі, як при $\beta = 0$. Таким чином, спектральні

траси шумових піків скорочуються, що зменшує музичний шум, що сприймається на слух.

3.2 Встановлення ділянок мовної активності

У найпростішому випадку детектор мовленнєвої активності може бути реалізований шляхом аналізу енергії поточного кадру сигналу та порівняння її з енергією оцінки шуму. Фрейми, що містять мову в середньому повинні мати більшу енергію, ніж фрейми, що містять виключно шум. На практиці найчастіше використовується параметр сегментного співвідношення сигнал/шум

$$\text{SegSNR} = 10 \lg \frac{\sum P_x(\omega)}{\sum P_a(\omega)}. \quad (3.3)$$

У процесі роботи системи шумоподавлення для кожного кадру розраховується значення SegSNR і виконується порівняння його з пороговим значенням N_{thres} , яке визначається експериментально. Якщо

$$\text{SegSNR} > N_{thres},$$

це говорить про те, що поточний сегмент сигналу містить мовну активність.

На рис. 3.2 показаний приклад роботи детектора мовної активності реального мовного сигналу, забрудненого білим шумом.

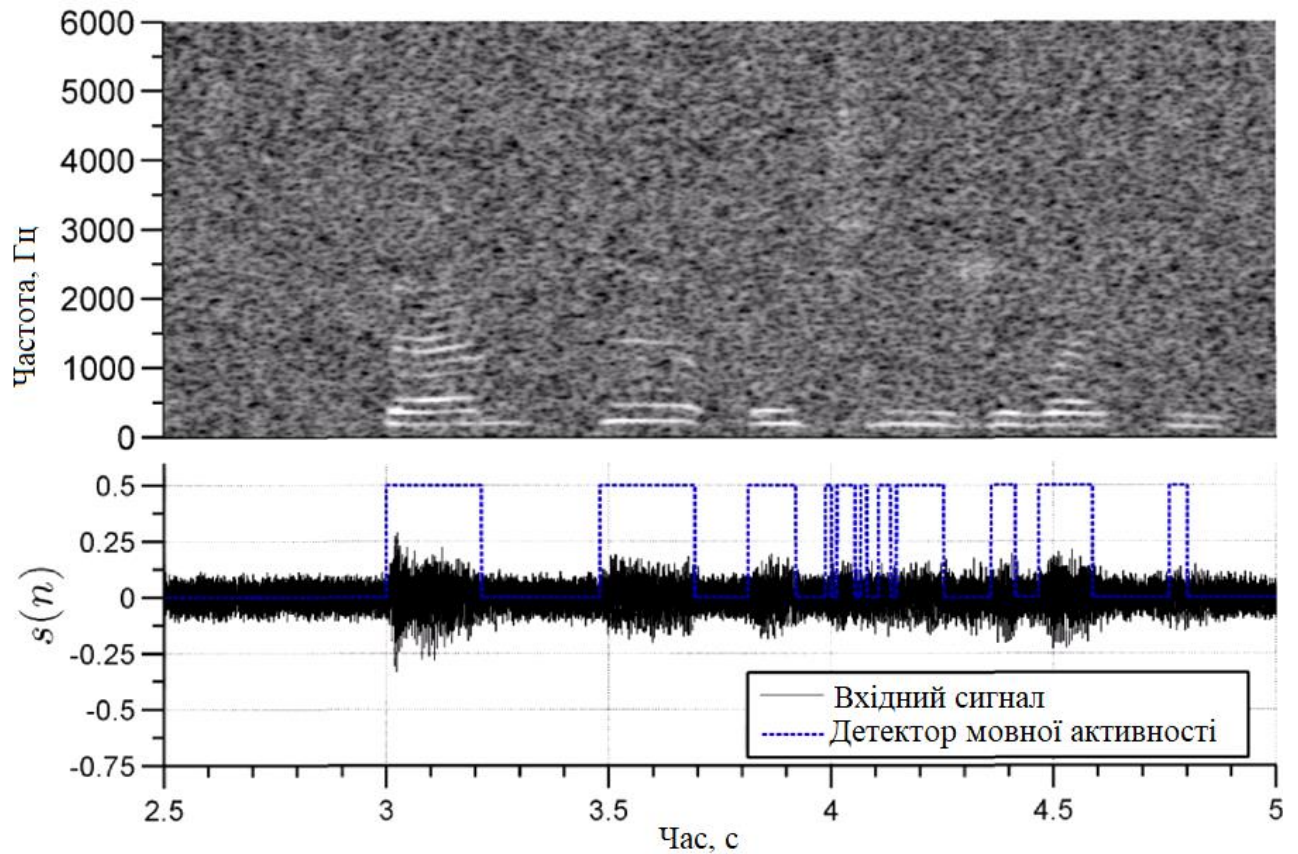


Рис. 3.2. Приклад роботи детектора мовної активності

3.3 Оцінка діапазону потужності шуму

Оцінка діапазону потужності шуму відбувається тільки на тих кадрах вхідного сигналу, на яких відсутня мовна активність. При цьому оцінка проводиться методом експоненційного усереднення:

$$P_{\hat{a}}(\omega) = \gamma P_{\hat{a}}(\omega) + (1 - \gamma)P_x(\omega), \quad (3.4)$$

де γ - коефіцієнт усереднення, який зазвичай вибирається в діапазоні $0,9 < \gamma < 1$.

Приклад оцінки спектра потужності шуму показаний рис. 3.3. Слід зазначити, що помилки в роботі детектора мовної активності викликають появу

помилкових компонент у спектрі потужності шуму. Рис. 3.3 показує, що оновлення спектра потужності шуму припиняється на той час, коли алгоритмом детектується в сигналі мовна активність.

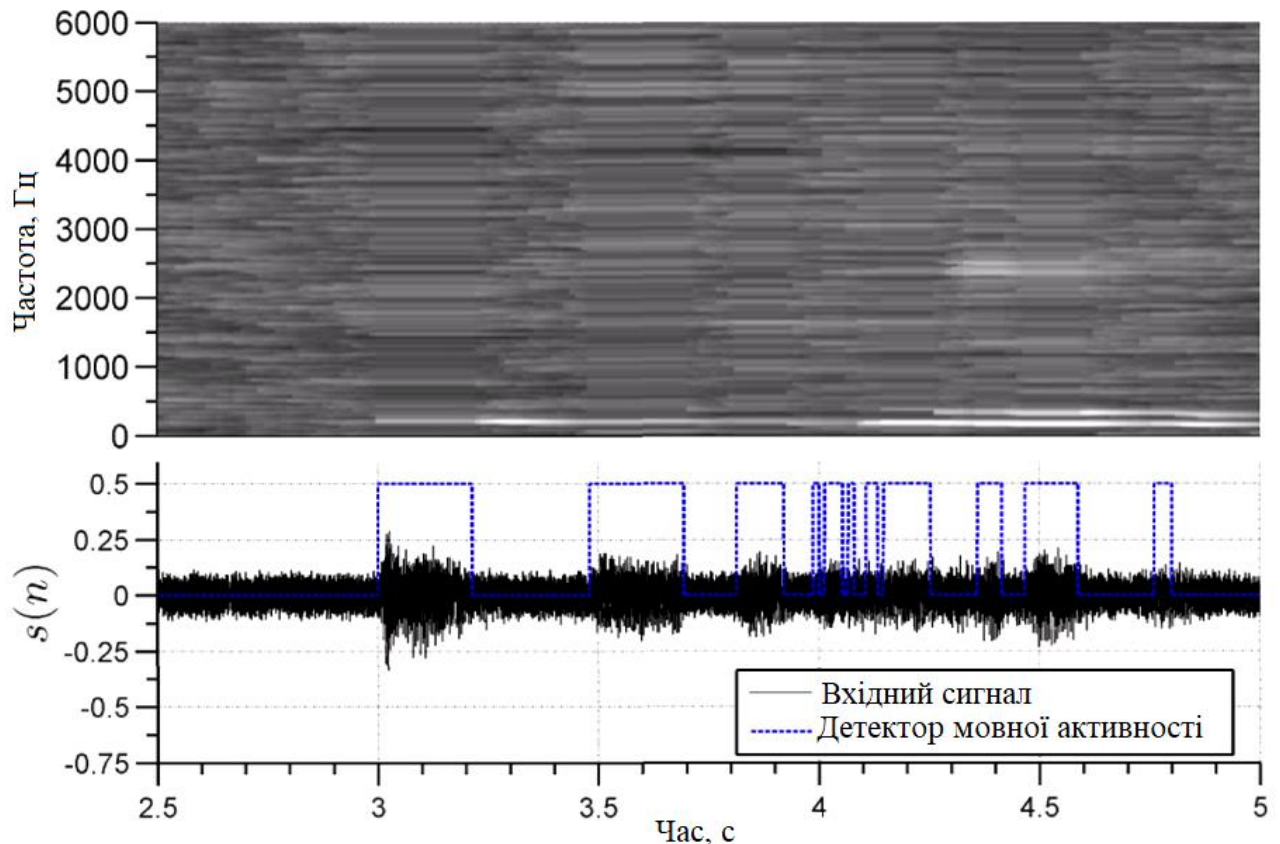


Рис. 3.3. Приклад виконання оцінки спектра потужності шуму

3.4 Реалізація алгоритму спектрального віднімання в Matlab

В додатку А наводиться Matlab-код програми, який реалізує алгоритм спектрального віднімання.

На рис. 3.4 показаний приклад роботи класичного алгоритму віднімання спектра. У діапазоні вихідного сигналу можна побачити значну присутність музичних шумів. На рис. 3.5 показаний приклад роботи модифікованого алгоритму спектрального віднімання з параметрами $\alpha = 5$ і $\beta = 0,05$.

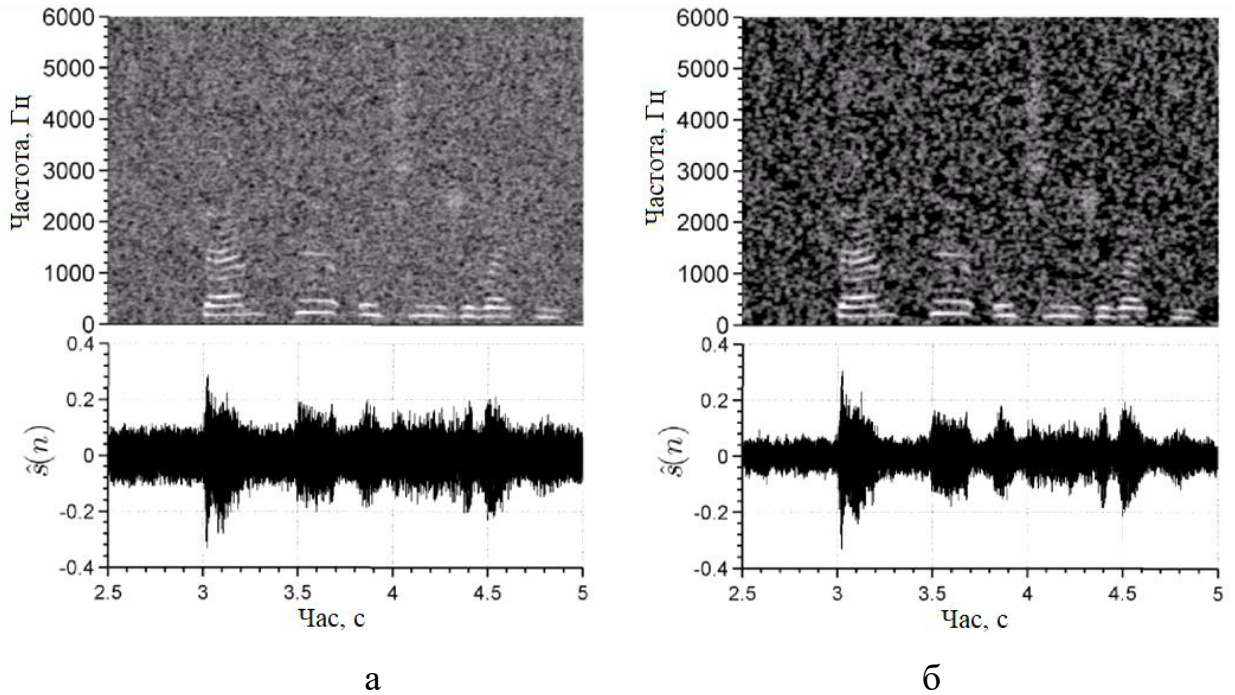


Рис. 3.4. Робота системи шумоподавлення з параметрами $\alpha = 1$ і $\beta = 0$

а - сигнал на вході системи; б - сигнал на виході системи

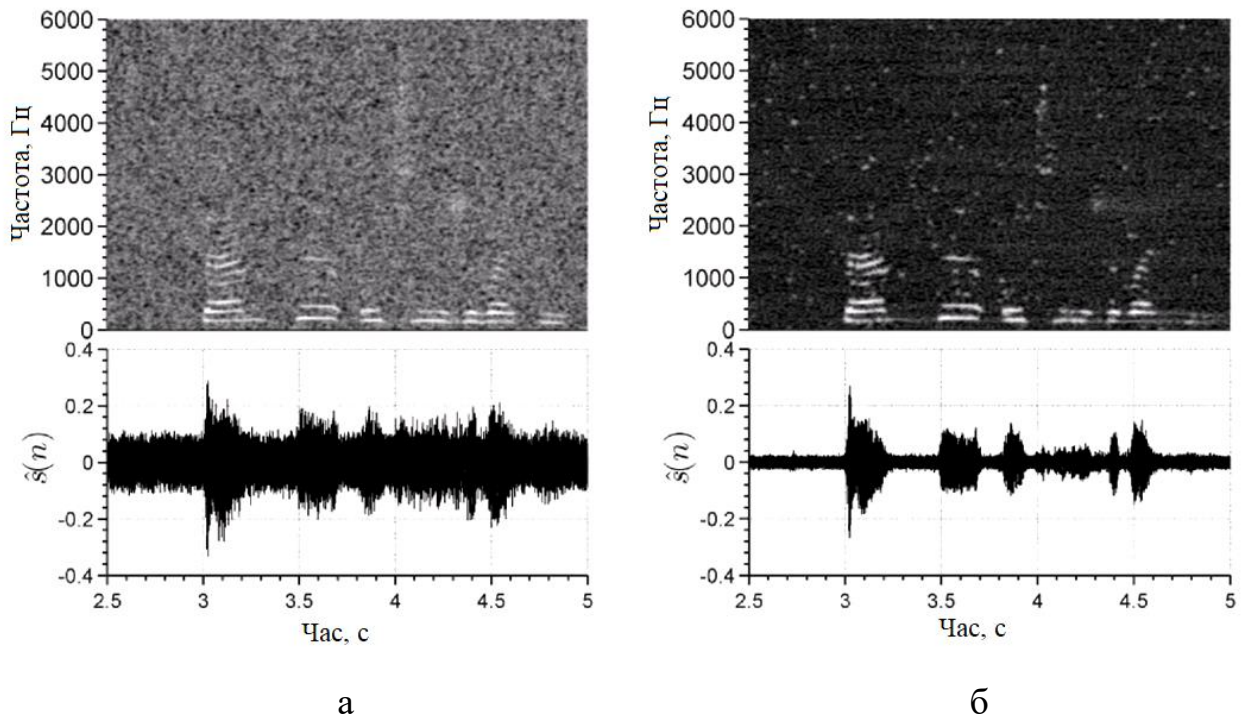


Рис. 3.5. Робота системи шумоподавлення з параметрами $\alpha = 5$ і $\beta = 0,05$

а – сигнал на вході системи; б – сигнал на виході системи

Вихідний сигнал у другому випадку має нижчий рівень шуму.

3.5 Оцінювання ефективності методу спектрального віднімання

Метод початково розроблявся та показує найкращі результати фільтрації сигналів, зашумлених білим шумом із заданим співвідношенням сигнал-шум. При цьому спостерігається мінімальне спотворення корисного сигналу, отриманого після такої фільтрації. Розглянемо інший випадок шуму.

Проведемо генерування суміші голосового сигналу із шумом, записаним з допомогою комп'ютерного мікрофона, пронормованого по амплітуді та доданого до чистого голосового сигналу. Змінюючи енергію шуму змодельовано три випадки суміші сигналу із шумом. Вигляд голосового сигналу у вигляді повторень окремих звуків наведено на рис. 3.6. Вигляд шуму наведено на рис. 3.7 а вигляд отриманих сумішей наведено на рис. 3.8.

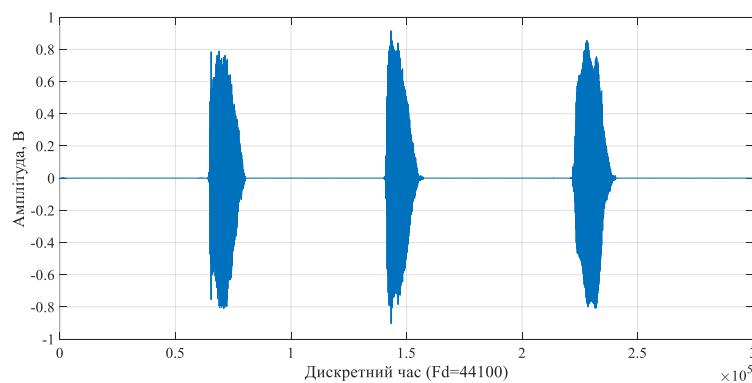


Рис. 3.6. Вигляд голосового сигналу у вигляді повторень окремих звуків

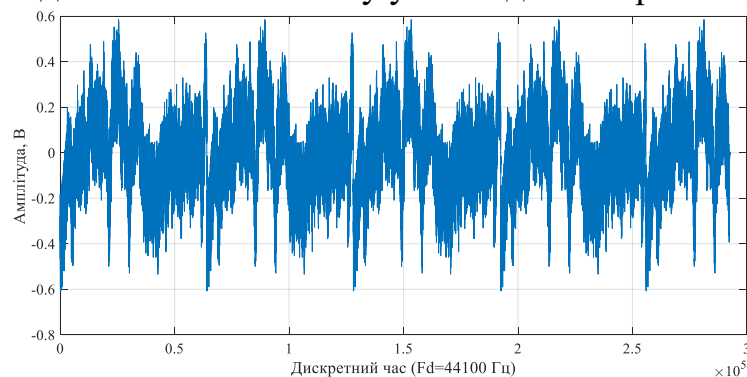


Рис. 3.7. Вигляд шуму

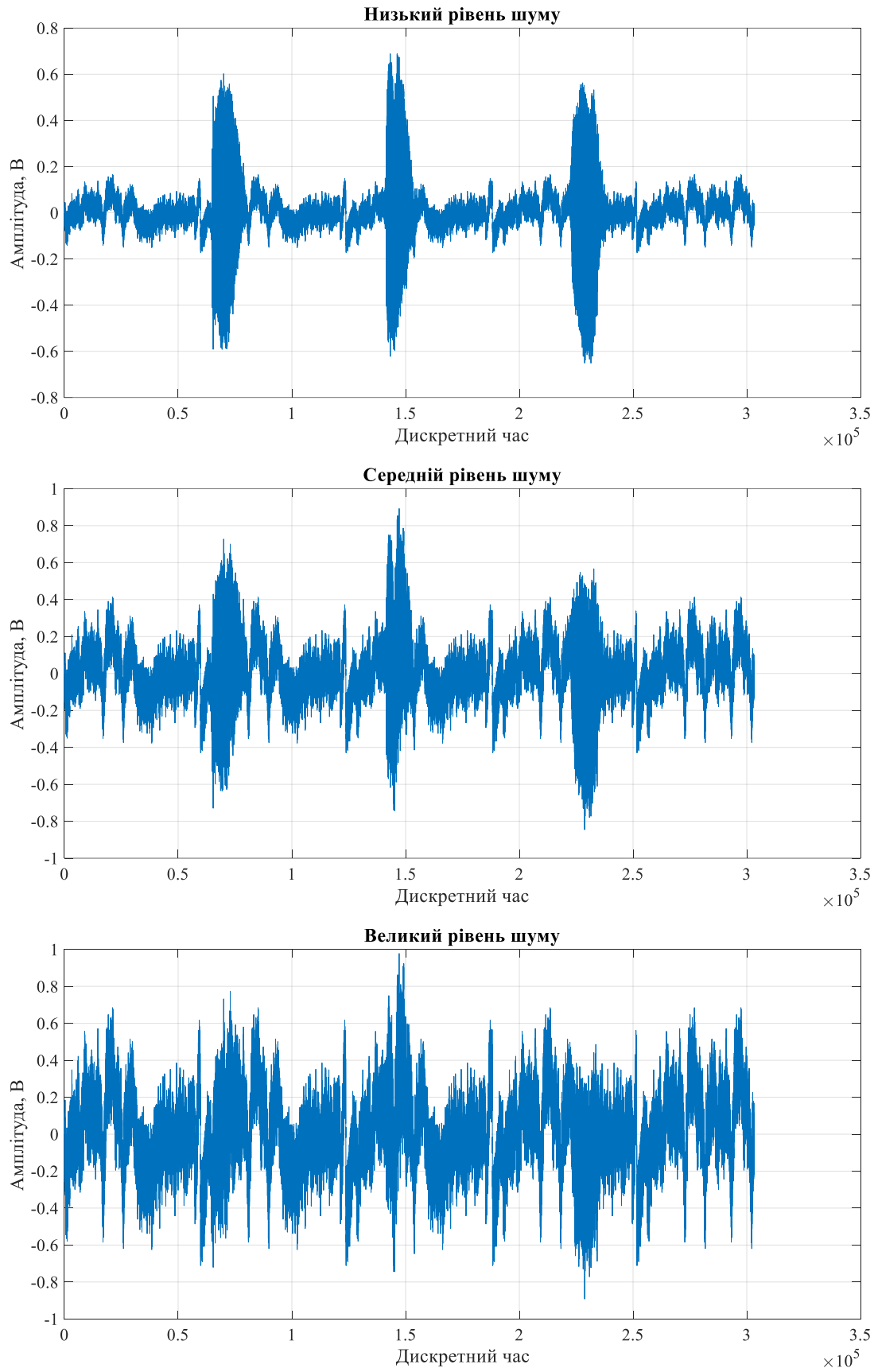


Рис. 3.8. Вигляд отриманих сумішей

В середовищі Adobe Audition проведено фільтрацію сумішей методом спектрального віднімання. Проведено в Matlab оцінювання параметрів відфільтрованих сигналів. Результати фільтрації наведено на рис. 3.9.

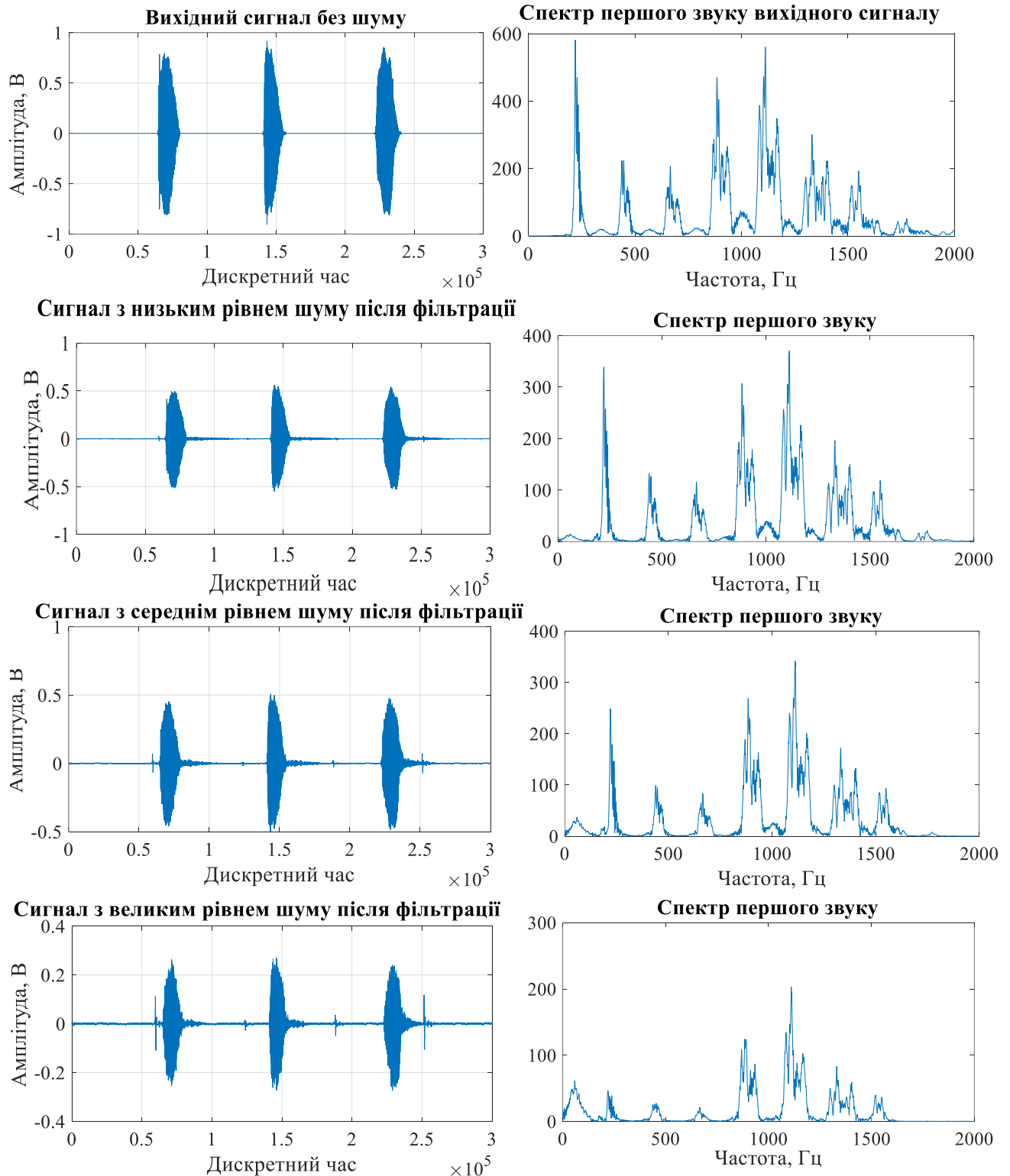


Рис. 3.9. Вигляд результатів фільтрації

З рис. 3.9 видно, що відфільтрований сигнал практично співпадає з вихідним сигналом, за виключенням зменшенні амплітуди сигналу. Однак помітними є деякі зміни в спектрах цих сигналів. Це є результатом прояву музичного шуму. Також при прослуховуванні помітні зміни в фазових характеристиках звучання відфільтрованого звуку. Він звучить як при ефекті музичного фазообертання. При чому, чим більшим був рівень шуму, тим більш відчутний цей ефект. Однак для його усунення є розроблені спеціальні методи фазовирівнювання, які є реалізовані додатково в Adobe Audition

Таким чином можна зробити висновок, що в порівнянні із класичними методами фільтрації метод спектрального віднімання дає набагато кращий ефект з мінімальними спотвореннями сигналів та можливістю компенсації цих спотворень. Тобто метод є найбільш ефективним для задач виявлення та ідентифікації сигналів. Однак в плані акустичної розбірливості мови спостерігаються відчутні на слух спотворення, які потребують застосування додаткових методів корекції сигналів.

3.6 Висновки до розділу 3

Проведено модифікацію класичного методу спектрального віднімання, що полягає в мінімізації вузькосмугових спектральних піків, що сприймаються на слух. Також в алгоритмі враховано процедуру заповнення областей мінімуму, що робиться шляхом додавання спектрального порога. При цьому не допускається зниження рівня спектральних компонент нижче за порогове значення. Таким чином, спектральні траси шумових піків скорочуються, що зменшує музичний шум, що сприймається на слух.

Проведено моделювання класичного та модифікованого алгоритму спектрального віднімання в Matlab. Встановлено, що вихідний сигнал у другому випадку має значно нижчий рівень шуму.

Проведено моделювання шумоподавлення в середовищі Matlab. Встановлено, що в порівнянні із класичними методами фільтрації метод спектрального віднімання дає набагато кращий ефект з мінімальними спотвореннями сигналів та можливістю компенсації цих спотворень. Тобто метод є найбільш ефективним для задач виявлення та ідентифікації сигналів. Однак в плані акустичної розбірливості мови спостерігаються відчутні на слух спотворення, які потребують застосування додаткових методів корекції сигналів.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці

Заходи електробезпеки при роботі з виробом

При роботі з виробом необхідно дотримуватись загальні правила техніки безпеки. Залежно від способу захисту обслуговуючого персоналу від удару електричним струмом блок живлення можна віднести до I або II класу відповідно до діючого стандарту.

Правила техніки безпеки:

- при підозрі на несправність під час підготовки блоку до роботи необхідно відключити його від мережі електроживлення (знеструмити). Несправний блок категорично забороняється експлуатувати. Підозріння на несправність виникає із-за виникнення підозрілих шумів, тріску, запахів і тому подібне.

- заземлення на труби опалювання і водопроводу не можна вважати задовільним, оскільки завжди є вірогідність, що в іншому приміщенні на цю ж трубу заземлений блок із значним витоком струму, який може поширитися на пацієнта і обслуговуючий апаратуру персонал.

- якщо одночасно використовується декілька блоків, вони повинні мати одну точку заземлення. Не можна підключати блоки до землі послідовно, в цьому випадку утворюється "петля" заземлення, по якій циркулюють струми витоку.

- заміна патронів, вилок і інших з'єднувачів повинна робитися лише фахівцями, хоча на перший погляд робота здається дуже простою.

Надання першої медичної допомоги при електроударах

Першу допомогу потерпілому від удару електричним струмом потрібно надавати максимально швидко і правильно. Необхідно, насамперед, людину, що постраждала, звільнити від струму, оскільки тривалість дії впливає на тяжкість електротравми. Перш за все треба відключити подачу електроенергії до місця події за допомогою рубильника або вимикача. Якщо вимикача поруч немає, а напруга живлячої лінії не перевищує 1000 В (напруга в побутових електричних мережах не перевищує 220 В), то звільняють потерпілого за допомогою сухого предмету не провідного електрика: палиці, дошки, сухої частини одягу, наприклад підлоги піджака або коміра куртки. Відтягаючи потерпілого за одяг, потрібно потурбуватися про власну ізоляцію. Для цієї мети підійде сухий шарф, надітий на руку, суконна або шкіряна кепка; можна встати на гумовий автомобільний килимок або прихопити нею потерпілого; можна перерубати дроти сокирою з сухою дерев'яною рукояткою. Перурабати або перекушувати дроти необхідно поодиноці, кожну фазу окремо. При напрузі в мережі вище 1000 В слід надіти діелектричні рукавички і боти, діяти ізолюючою штангою або виробити замикання дротів накоротко, накинувши на них гнучкий дріт, що має чималий перетин, аби не перегорів при виникненні струму короткого замикання. Іншими словами, потрібне спеціальне устаткування.

У всіх випадках удару електричним струмом потрібно викликати швидко медичну допомогу. Якщо потерпілий в свідомості, але був в непритомності, або якщо знаходиться в несвідомому стані, але дихання і пульс збережені, то його треба покласти, розстібнути одяг, зігріти тіло і створити спокійну обстановку довкола. Аби потерпілий не захлинувся від блювоти, голову необхідно обернути набік. Коли потерпілий приходить в свідомість, йому забороняють підійматися і ходити до приїзду швидкої медичної допомоги. Зазвичай таких потерпілих доставляють в стаціонарне відділення і декілька днів спостерігають за їх станом.

Якщо після звільнення від дії електричного струму потерпілий не дихає або дихання у нього рідке, неглибоке, і шкірні покриви поступово синіють, то необхідно провести штучне дихання. Дихання з рота в рот або з рота в ніс забезпечують вступ в легені рятованого необхідної кількості повітря, придатного для дихання. Вдування повітря здійснюється через марлю або носову хустку. При цьому методі штучного дихання видно, чи потрапляє повітря в легені рятованого, на вдиху у нього підіймаються ребра, а видих відбувається пасивно, за рахунок природної еластичності грудної клітки.

4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Пожежна безпека

Пожежа - неконтрольоване горіння поза спеціальним вогнищем, яке призводить до матеріальної шкоди.

Пожежна безпека – стан об’єкта, при якому з регламентованою ймовірністю виключається можливість виникнення та розвиток пожежі і впливу на людей її небезпечних факторів, а також забезпечується захист матеріальних цінностей.

Причинами пожеж та вибухів на підприємстві є порушення правил і норм пожежної безпеки, невиконання Закону “Про пожежну безпеку”.

Небезпечними факторами пожежі і вибуху, які можуть призвести до травми, отруєння, загибелі або матеріальних збитків є відкритий вогонь, іскри, підвищена температура, токсичні продукти горіння, дим, низький вміст кисню, обвалення будинків і споруд.

За стан пожежної безпеки на підприємстві відповідають її керівники, начальники цехів, майстри та інші керівники.

На підприємствах існує два види пожежної охорони: професійна і воєнізована. Воєнізована охорона створюється на об’єктах з підвищеною

небезпекою. Крім того на підприємствах для посилення пожежної охорони організуються добровільні пожежні дружини і команди, добровільні пожежні товариства і пожежно-технічні комісії з числа робітників та службовців. При Міністерстві внутрішніх справ існує управління пожежної охорони (УПО) і його органи на місцях. До складу УПО входить Державний пожежний нагляд який здійснює:

Контроль за станом пожежної безпеки

Розробляє і погоджує протипожежні норми і правила та контролює їх виконання в проектах і безпосередньо на об'єктах народного господарства

Проводить розслідування і облік пожеж

Організовує протипожежну профілактику.

Протипожежна профілактика – це комплекс організаційних і технічних заходів, які спрямовані на здійснення безпеки людей, на попередження пожеж, локалізацію їх поширення, а також створення умов для успішного гасіння пожежі.

Відповідальним керівником робіт по ліквідації пожеж і аварій на підприємстві є головний інженер. Начальник структурного підрозділу, в якому виникла пожежа, є відповідальним виконавцем робіт по її ліквідації.

Протипожежні вимоги до будинків і споруд

Виходячи з властивостей речовин і матеріалів, умов їх застосування і обробки і у відповідності із ОНТП 24-86 “Визначення категорій приміщень і будівель по вибухопожежній і пожежній небезпеці” приміщення по вибухопожежній і пожежній небезпеці діляться на п'ять категорій – А, Б, В, Г, Д.

До категорії А належать приміщення, де перебувають спалимі та легкозаймисті рідини з температурою спалаху, що не перевищує 28°C, а також речовини і матеріали здатні вибухати і горіти при взаємодії з водою, киснем або

одне з одним; при утворенні вибухонебезпечних сумішей розвивається розрахунковий надлишковий тиск вибуху 5 кПа.

До категорії Б належать приміщення, в яких є пил та волокна, легкозаймисті рідини з температурою спалаху понад 28°C та спалимі рідини в такій кількості, що можуть утворюватися вибухонебезпечні пилоповітряні та пароповітряні суміші, при займанні яких розвивається розрахунковий надлишковий тиск вибуху 5 кПа.

До категорії В належать приміщення, де перебувають спалимі та важкоспалимі рідини, тверді спалимі та важкоспалимі речовини та матеріали (в тому числі пил та волокна), а також речовини і матеріали які здатні при взаємодії з водою, киснем повітря та одне з одним тільки горіти (за умови, що ці приміщення не відносяться до категорії А чи Б).

До категорії Г належать приміщення, в яких є неспалимі речовини та матеріали в гарячому, розпеченому або розплавленому стані, а також спалимі гази, рідини та тверді речовини, які спалюються або утилізуються як паливо; процес їх обробки супроводжується виділенням променевої теплоти, іскор та полум'я.

До категорії Д належать приміщення, в яких є неспалимі речовини та матеріали у холодному стані.

На розвиток пожежі у приміщеннях та спорудах значно впливає здатність окремих будівельних елементів чинити опір впливу тепла, тобто їх вогнестійкість.

Вогнестійкість – здатність будівельних конструкцій чинити опір дії високої температури, утворенню наскрізних тріщин та поширенню вогню в умовах пожежі і виконувати при цьому свої звичайні експлуатаційні функції. Вогнестійкість конструкцій будівель характеризується межею вогнестійкості.

Межа вогнестійкості – це час, на протязі якого конструкція може витримати дію вогню, а потім вже починається деформація.

Всі будівлі і споруди за ступенем вогнестійкості за СНиП 2.01.02-85 поділяють на 5 ступеней.

Будинок може належати до того або іншого ступеня вогнестійкості, якщо значення меж вогнестійкості і меж поширення вогню усіх конструкцій не перевищує значень вимог СНиП 2.01.02-85.

4.3 Висновки до розділу

В розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» описано заходи електробезпеки при роботі з виробом, а також питання пожежної безпеки на підприємстві.

ВИСНОВКИ

Проаналізовано задачу обробки мовного сигналу, записаного в умовах акустичного забруднення, що полягає у підвищенні його якості шляхом зменшення фонового шуму без зниження розбірливості мовного повідомлення.

Проаналізовано метод спектрального зважування, що являє собою метод відновлення спектральної густини потужності або амплітудного спектру із сигналу, зареєстрованого з адитивним шумом, шляхом віднімання середньої оцінки спектру шуму. Шум має бути стаційним, або повільно змінним процесом, і не змінюватися істотно між періодами оновлення параметрів.

Проаналізовано різні удосконалення методу для вирішення проблем, які зазвичай пов'язані зі спектральним відніманням, таких як залишковий широкосмуговий шум і вузькосмуговий тональний шум, який називають музичним шумом.

Встановлено. Що ефективність спектрального віднімання сильно залежить від точної оцінки шуму, що є складним завданням для досягнення в більшості умов.

Проведено модифікацію класичного методу спектрального віднімання, що полягає в мінімізації вузькосмугових спектральних піків, що сприймаються на слух. Також в алгоритмі враховано процедуру заповнення областей мінімуму, що робиться шляхом додавання спектрального порога. При цьому не допускається зниження рівня спектральних компонент нижче за порогове значення. Таким чином, спектральні траси шумових піків скорочуються, що зменшує музичний шум, що сприймається на слух.

Проведено моделювання класичного та модифікованого алгоритму спектрального віднімання в Matlab. Встановлено, що вихідний сигнал у другому випадку має значно нижчий рівень шуму.

Проведено моделювання шумоподавлення в середовищі Matlab. Встановлено, що в порівнянні із класичними методами фільтрації метод спектрального віднімання дає набагато кращий ефект з мінімальними спотвореннями сигналів та можливістю компенсації цих спотворень. Тобто метод є найбільш ефективним для задач виявлення та ідентифікації сигналів. Однак в плані акустичної розбірливості мови спостерігаються відчутні на слух спотворення, які потребують застосування додаткових методів корекції сигналів.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Оппенгейм, А. Цифровая обработка сигналов / А. Оппенгейм, Р. Шафер. - М. : Техносфера, 2006. - 853 с.
- 2 Лайонс, Р. Цифровая обработка сигналов / Р. Лайонс; пер. с англ. - 2-е изд. - М. : ООО «Бином-Пресс», 2006. - 656 с.
- 3 Рабинер, Л. Теория и применение цифровой обработки сигналов / Л. Рабинер, Б. Гоулд. - М. : Мир, 1978. - 848 с.
- 4 Сергиенко, А.Б. Цифровая обработка сигналов / А. Б. Сергиенко. - СПб. : Питер, 2002. - 608 с.
- 5 Солони́на, А.И. Алгоритмы и процессоры цифровой обработки сигналов / А. И. Солони́на, Д. А. Улахович, Л. А. Яковлев. - СПб. : БХВ-Петербург, 2002.-464 с.
- 6 Вашкевич М. И. Косинусно-модулированные банки фильтров с фазовым преобразованием: реализация и применение в слуховых аппаратах - М. : Горячая линия - Телеком, 2014. -210с.
- 7 Гольденберг, Л.М. Цифровая обработка сигналов: Учеб. пособие для вузов./ Л. М. Гольденберг, В. Д. Матюшкин, М. Н. Поляк - М. : Радио и связь, 1990-315 с.
- 8 Каппелини, В. Цифровые фильтры и их применение / В. Каппелини, А. Константи́нидис, П. Эмилиани. - М. : Радио и связь, 1983. - 350 с.
- 9 Хемминг Р. В. Цифровые фильтры. / Р.В. Хемминг. - М. : Сов. радио, 1980.-224 с.
- 10 Голд, Б. Цифровая обработка сигналов / Б. Голд, Ч. Рэйдер : Сов. радио, 1973. -368 с.
- 11 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.

12 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.

13 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.

14 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.

15 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.

16 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.

17 Дозорська О.Ф., Дозорський В.Г., Дедів Л.Є., Дедів І.Ю., Яворська Є.Б. Застосування нейрохронаксихної теорії фонації для задачі відновлення

комунікативної функції мови людини. *Znanstvena misel. Slovenia*. 2017. №12. С. 57-61.

18 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.

19 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.

20 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.

21 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.

22 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.

23 Dozorsky 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.

24 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.

25 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.

26 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.

27 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.

28 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 621.372.54

Володимир Антонів, Євгеній Дейдей, Василь Дунець, к.т.н.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ЗАДАЧА ЦИФРОВОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ СИГНАЛІВ В РАДІОТЕХНІЦІ

Volodymyr Antoniv, Yevheniy Deidei, Vasyl Dunets, Ph.D.

THE PROBLEM OF DIGITAL FILTRATION OF SIGNALS IN RADIOTECHNICS

В області створення технічних засобів обміну даними актуальною є задача проектування систем фільтрації, призначенням яких є реалізація складних фільтрів, які будуть пропускати складові вхідного сигналу в певній смузі (смугах) частот та не пропускати в інших смугах частот. Залежно від вигляду залежності амплітуди сигналу на виході фільтра від частоти сигналу розрізняють чотири основні типи фільтрів, а саме фільтри низьких частот, фільтри високих частот, смугові та ежекторні фільтри. При цьому всі фільтри за способом реалізації та принципу дії можна розділити на аналогові та цифрові. Перший тип фільтрів працює з аналоговими сигналами та використовується для їхньої перед обробки, зокрема в колах прийому чи реєстрації сигналів. Більш поширеним сьогодні стає цифрова фільтрація, яка використовує методи опрацювання сигналів у вигляді дискретних послідовностей квантова них за рівнем та часом аналогових сигналів. При цьому розрізняють два класи цифрових фільтрів, а саме нерекурсивні цифрові фільтри та рекурсивні цифрові фільтри.

Принцип роботи не рекурсивних цифрових фільтрів ґрунтується на залежності дискретних відліків вихідного сигналу тільки від дискретних відліків вхідного сигналу в кожен момент часу. У випадку ж рекурсивних цифрових фільтрів, дискретні відліки вихідного сигналу у кожен момент часу залежать як від відліків вхідного сигналу, так і від відліків вихідного сигналу в попередні моменти часу.

До переваг нерекурсивних фільтрів слід віднести простоту теоретичного аналізу (відпрацьованими є алгоритми розрахунку та проектування таких фільтрів), зв'язок коефіцієнтів фільтра з відліками його імпульсної перехідної характеристики, простоту практичної реалізації, стійкість фільтра, лінійність фазової характеристики (за умови симетричності фільтра), що дозволяє зменшити спотворення фронтів імпульсних сигналів – тому такі фільтри широко використовуються в телекомунікаційних системах. До недоліків нерекурсивних фільтрів слід віднести необхідний високий (кілька сотень чи навіть тисяч) порядок фільтрів для забезпечення прийнятної форми амплітудно-частотної характеристики. Оскільки нерекурсивні фільтри описуються матрицею коефіцієнтів, а двовимірні фільтри є природним узагальненням одновимірних фільтрів, ці фільтри знайшли поширення в області обробки зображень.

Однак, для певних задач необхідним є проектування рекурсивних цифрових фільтрів, розрахунок яких є значно складнішим в порівнянні із нерекурсивними фільтрами. Саме цьому питанню і присвячені наступні дослідження

Література

1. Бабак В.П., Хандецький В.С., Шрюфер Е. Обробка сигналів. – К.: Либідь, 1999. – 492с.
2. Е. Шрюфер, Обробка сигналів. Цифрова обробка дискретизованих сигналів. – К.: Либідь, 1992. –294с.
3. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. – М., ПИТЕР, 2002. –603с.