

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Дослідження застосування методу Доплера у системах активного шумопоглинання в системах радіоуправління

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

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Чикало П.В.

(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)

(прізвище та ініціали)

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)

« »

2023 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю

172 Телекомунікація та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

студенту

Чикало П.В.

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження застосування методу Доплера у системах активного шумопоглинання в системах радіоуправління

Керівник роботи

Яськів Володимир Іванович

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

Затверджені наказом ректора від « 1 » грудня 2023 року № 4/7-1135 .

2. Термін подання студентом завершеної роботи

3. Вихідні дані до роботи

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

1. Аналітична частина

2. Основна частина

3. Науково - дослідна частина

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

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

1. Загальні відомості про когнітивні радіосистеми

2. Класифікація методів боротьби із шумом у когнітивних радіосистемах

3. Загальні відомості про OFDM у когнітивних радіосистемах

4. Ефект Доплера у радіосистемах

5. Вплив ефекту Доплера на радіосигнали

6. Вплив ефекту Доплера на OFDM радіосигнали із QPSK модуляцією у системах когнітивного радіо

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Дослідження застосування методу Доплера у системах активного шумопоглинання в системах радіоуправління» // Кваліфікаційна робота // Чикало Павло Васильович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, група РРм-61 // Тернопіль, 2023 // с. – 63 , рис. – 28 , табл. – 3 , додат. – 1 , бібліогр. – 22.

Ключові слова: КОГНІТИВНЕ РАДІО, ЕФЕКТ ДОПЛЕРА, АДАПТИВНІ СИСТЕМИ, OFDM, QPSK.

В кваліфікаційній роботі здійснено аналіз адаптивних радіосистем, із активним шумопоглинанням, оцінку їх параметрів. Порівняння різних варіантів боротьби із шумом у каналі зв'язку у системах когнітивного радіо.

Також було проведене наукове дослідження впливу ефекту Доплера на системи адаптивного радіо із OFDM мультипелксуванням сигналів.

ANOTATION

Title of the Qualification Paper: "Investigation of the Application of Doppler Method in Active Noise Cancelling Systems in Radio Control Systems" // Qualification Thesis // Chykalo Pavlo Vasylovych// Ternopil National Technical University (TNTU), Faculty of Applied Technologies, Group RRm-61 // Ternopil, 2023 // Pages – 63, Figures – 28, Tables – 3, Appendices – 1, Bibliography – 22.

COGNITIVE RADIO, DOPPLER EFFECT, ADAPTIVE SYSTEMS, OFDM, QPSK.

The qualification paper includes an analysis of adaptive radio systems with active noise cancellation and an assessment of their parameters. A comparison of different approaches to noise mitigation in the communication channel within cognitive radio systems was conducted.

Additionally, a scientific investigation was carried out on the influence of the Doppler effect on adaptive radio systems employing OFDM signal multiplexing.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	10
1.1 Аналіз адаптивних систем із активним шумопоглинанням	10
1.1.1 Класифікація методів активного шумопоглинання	11
1.2 Ортогональне частотне розділення (OFDM) у когнітивних радіосистемах	16
1.3 Багатокористувацька система когнітивного радіо з OFDM	19
1.4 Ефект Доплера в радіотехніці	20
1.5 Висновки до Розділу 1	22
РОЗДІЛ 2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	23
2.1 Принципи OFDM	23
2.2 Теоретична реалізація OFDM з квадратурною амплітудною та квадратурною фазовою модуляцією	24
2.3 Модуляція 16QAM з OFDM	29
2.4 Модуляція QPSK з OFDM	32
РОЗДІЛ 3 НАУКОВО-ДОСЛІДНА РОБОТА	35
3.1 Дослідження впливу ефекту Доплера на системи з OFDM	35
3.2 Системи із ортогональним розділенням частот (OFDM) за відсутності доплерівського зсуву частот	35
3.3 Вплив ефекту доплерівського зсуву частоти на OFDM системи із QPSK модуляцією	36
3.4 Висновки до розділу	47
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	49
4.1 Медичний захист населення у надзвичайних ситуаціях	49
4.2 Застосування систем раннього виявлення надзвичайних ситуацій та оповіщення людей в разі їх виникнення на потенційно небезпечних об'єктах	53
4.3 Висновки до розділу 4	56
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	59
ДОДАТОК А	63

ВСТУП

Актуальність теми: У наш час кількість радіопристроїв які активно випромінюють у ефір радіосигнали на різних частотах і з різними потужностями величезна, і з кожним роком їх число все зростає. З цього випливає те що все важче і важче передавати інформацію за допомогою радіоефіру з використанням простих пристроїв, особливо якщо це стосується радіоуправління, адже одночасно передається дуже багато різних сигналів, які, безперечно, впливають на точність отримуваної інформації. Крім сигналів інших радіопристроїв у ефірі є і багато інших активних шумів, наприклад від промислового обладнання, або магнітного поля Землі. Ці всі непотрібні сигнали та шуми у останні кілька десятиліть почали придушувати за допомогою систем активного шумопоглинання, які основною мірою придушують непотрібні сигнали у системах завдяки використанню сигналів такої ж форми та потужності як і шумові, лише у протифазі, що за допомогою явища інтерференції дає змогу придушувати сигнали шумів до такого низького рівня, що вони практично перестають впливати на якість прийнятої інформації.

В сучасних радіотехнічних системах все частіше і частіше використовують та застосовують системи активного шумопоглинання. Системи із активним шумопоглинанням, або ж адаптивні системи ще називають системами когнітивного радіо. Більшою мірою про них усі чули в статтях пов'язаних із навушниками та подібними аудіопристроями, адже саме там активне шумопоглинання знайшло найширше застосування, дозволяючи нівелювати вплив шумів які оточують людей в таких навушниках, дозволяючи насолоджуватись чітким та якісним звуком за будь яких умов, хоч на станції метро, хоч у літаку який іде на взліт. У високочастотних системах, радіопередаючих пристроях, активне шумопоглинання використовується там де є потужні шуми які створюють конкретні проблеми у прийомі та передачі сигналів, а базові заходи із використання фільтрів та направлених антен не дозволяють достатньо покращити передачу інформації.

Методи та технології призначені для придушення шумів з'являлись із потреби зниження рівня шумів та завад при прийманні корисних сигналів. Шуми спотворюють сигнали випадковим чином, тим самим погіршуючи точність отримуваної інформації, що є особливо критичним у системах призначених для віддаленого управління, наприклад таких як БПЛА, або в системах дистанційного відеоспостереження. Найпоширенішими джерелами шумів та завад виступають: нелінійні спотворення присутні у радіочастотному фоні, теплові шуми, та інші шуми, які присутні у навколишньому середовищі.

За останні кілька десятиліть було запропоновано чимало методів боротьби із шумами за допомогою системи із активним шумопоглинанням. Найчастіше такі системи налаштовані на кілька конкретних частот шумів, які є найбільш критичними для даного пристрою, та за допомогою спеціальних антен та високочастотних модулів можуть бути подавлені, для кращого і точнішого приймання корисного сигналу.

В основній своїй масі усі такі методи можна поділити на 2 типи: градієнтно спадні системи та неградієнтні адаптивні системи.

Метод градієнтного спуску, також відомий як метод найшвидшого спуску - це ітераційний алгоритм оптимізації першого порядку, який робить крок пропорційно протилежному значенню градієнту (або наближено го градієнта) функції в поточній точці, щоб знайти локальний мінімум функції. Натомість, крок, пропорційний значенню самого градієнта, наближає до локального максимуму функції. Прикладами алгоритмів, що базуються на градієнтному спуску та адаптивних методах, є "Метод Найменших Квадратів" (Least-Mean-Square, LMS) та його варіанти. Такі алгоритми використовуються у задачах оптимізації, де необхідно знайти оптимальні значення параметрів для мінімізації функціоналу. Він є ефективним, але не здатний адаптовуватись при зміні параметрів системи.

Алгоритми без використання градієнту включають еволюційні алгоритми на основі шумоприглушення. Однак у контексті систем когнітивного радіо (КР) видано невелику кількість наукових робіт з питань приглушення шуму, що пов'язано з тим, що технологія когнітивного радіо сама є новою технологією

зв'язку. Традиційні системи зв'язку використовують фільтри для приглушення шуму під час комунікації. Окрім приглушення шуму під час звичайної комунікації, система КР також може використовувати техніки пониження шуму під час фази сприймання спектра для підвищення точності сприймання.

Метою роботи є дослідження застосування доплерівського методу у системах активного шумоподавлення.

Задач дослідження:

- аналіз існуючих адаптивних радіосистем когнітивного радіо;
- аналіз застосування технології OFDM у адаптивних системах;
- дослідження впливу ефекту Доплера на сигнали у адаптивних радіосистемах когнітивного радіо.

Об'єкт дослідження: Процес дослідження активного шумопоглинання у радіотехнічних системах.

Предмет дослідження: доплерівський метод.

Методи дослідження базуються на основних принципах радіофізики, принципах радіопередачі інформації, на основних властивостях цифрових систем зв'язку та доплерівському методі.

Наукова новизна. Досліджено вплив Доплерівського ефекту для адаптивних радіосистем, з метою боротьби із шумом у каналі приймання для радіопристроїв із системами активного шумопоглинання.

Теоретичне та практичне значення здобутих результатів. Дослідження впливу Доплерівського ефекту для адаптивних радіосистем, розрахунок основних параметрів систем із OFDM, з врахуванням Доплерівського зсуву частоти.

Публікації.

Описані у збірнику тез з конференції “Інформаційні моделі, системи та технології”, теза у вигляді скан-копії наведена у додатку А.

Структура роботи: Робота складається із пояснювальної записки. Пояснювальна записка складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел. Обсяг роботи: пояснювальна записка - 45 аркушів формату А4.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Аналіз адаптивних систем із активним шумопоглинанням

У контексті систем когнітивного радіо (КР) інформації стосовно систем активного шумопоглинання не так вже і багато, що самі когнітивні радіосистеми є досить новою технологією, яка лише починає свій стрімкий розвиток.

Стосовно самих когнітивних радіосистем - то це такі системи, які передають інформацію безпроводниковим шляхом, за допомогою радіосигналів, а також володіють здатністю автоматично аналізувати та адаптуватись до змін умов передачі інформації, з метою ефективнішого використання наявних ресурсів. Для досягнення такої роботи ці системи використовують технології машинного навчання та штучного інтелекту, що дає змогу оптимізувати роботу каналів передачі та приймання інформації, ефективнішого використання спектру частот та мінімізації створення шумів та перешкод для інших систем що працюють у сусідніх або ж і цьому самому спектрі частот.

У звичайних системах зв'язку для виділення корисного сигналу від шумів, та мінімізації спотворень сигналу через різноманітні завади здійснюється шляхом фільтрації сигналів за допомогою фільтрів. Перевагами таких систем є простота, адже вони простіші конструктивно, і з цього ще відповідно випливає вища надійність, та менша вартість виготовлення таких систем. Але є недоліки, які в деяких ситуаціях можуть перебивати позитивні сторони, а саме статичність та висока споживана потужність. Стосовно статичності, то суть цього недоліку полягає у неможливості динамічно змінювати, адаптовувати приймальну сторону під зміни умов приймання сигналів, зміну інтенсивності та потужності шумів у спектрі сигналів. Споживана потужність у таких системах також потребує уваги, адже у деяких ситуаціях споживана потужність в них може критично зростати в зв'язку з відсутньою здатністю системи до адаптації умов приймання інформації, що

критично важливо для систем які живляться від акумуляторних батарей, тобто переносних транспортованих систем.

Що ж стосується новітніших систем із активним шумопоглинанням, то вони також мають свої позитивні та негативні сторони, про які слід згадати. Однією позитивною стороною є динамічність, яка в свою чергу дає такій радіосистемі змогу адаптовуватись до змін у спектрі приймання, змін факторів впливу з навколишнього середовища. Другою перевагою є те, що вони здатні ефективно працювати в умовах високим рівнем інтенсивності радіочастотних шумів, або змінах спектру сигналів, тобто у складних для будь яких радіопристроїв умовах.

Варто відзначити і недоліки, найсуттєвішим з яких, мабуть, є вартість виготовлення і складність таких систем. Адже в будь-якому випадку системи з активним шумозаглушенням вимагають дорогої елементної бази і додаткових витрат на виробництво. Якщо детальніше розглянути ці аспекти, то складність реалізації полягає у тому, що системи із активним шумопоглинанням потребують значних обчислювальних ресурсів для аналізу вхідного сигналу, адаптації системи при аналізі сигналів шумів та створенні антинаведень для їх придушення. Це в свою чергу означає що потрібна якісна та потужна обчислювальна техніка, яка не є дешевою у виконанні. Що ж до наступних недоліків то ще варто відмітити те, що такі системи можуть, у певних критичних умовах, створювати артефакти. В критичних ситуаціях приймання, або у моменти різкої зміни середовища приймання, тобто коли вплив шумів різко змінюється, у системах із активним шумопоглинанням, на відміну від систем із простою будовою, можуть з'являтися артефакти приймання, такі як сторонні звуки для аудіо, або повне затухання звуку, або ж інші спотворення прийнятої інформації. У таких ситуаціях також можуть виникати затримки в отриманні сигналу, оскільки обробка та адаптація сигналу потребує часу.

1.1.1. Класифікація методів активного шумопоглинання

Якщо узагальнювати то наявні методи активного шумопоглинання можна умовно розділити на три категорії: методи засновані на часо-частотному

аналізі, методи на основі матричної факторизації та методи на основі адаптивних фільтрів. Перша категорія собою представляє групу із двох методів, а саме методу хвильового перетворення та методу емпіричного розкладу. Друга категорія також складається із двох методів: шумопоглинання на основі розкладу сингулярних значень та шумопоглинання на основі факторизації матриць з невід'ємним значенням. Третя категорія на основі адаптивних фільтрів також поділяється на підкатегорії, в залежності від режиму роботи фільтрів, а саме на фільтрацію в режимі найменших квадратів (LMS) та фільтрацію в режимі нормалізованих найменших квадратів (NLMS).

Метод хвильового перетворення (wavelet transform based denoising) це математична операція, визначена як зміна базисних функцій. У просторі векторів, трансформація є лінійною операцією (лінійним відображенням), яка виражає будь-який вектор як набір зважених лінійно незалежних векторів. Математичні трансформації можуть бути застосовані в багатьох галузях, таких як обробка сигналів з метою отримання інформації за допомогою перетворення простого сигналу в модульований сигнал. Будь-який сигнал в області часу може бути визначений як простий, такий, який не був підданий жодній математичній трансформації. З іншого боку, оброблений сигнал - це сигнал, який був трансформований в інший формат, де він представлений новим набором функцій. Оскільки на практиці більшість сигналів існують в області часу, де вони представлені у форматі час-амплітуда, важко видобути цінну інформацію, і трансформація цих сигналів стає необхідністю. Існує кілька загальноприйнятих математичних трансформацій, які використовуються в обробці сигналів, таких як перетворення Фур'є, короткочасне перетворення Фур'є, гільбертівське перетворення, розподіли Вігнера, хвилі, трансформація Радона і т. д. Перетворення Фур'є було одним з перших, що з'явилося ще на початку 19-го століття як математичний підхід, який пропонує представлення будь-якого сигналу як нескінченної суми синусів та косинусів. Найважливішою причиною використання перетворення Фур'є в області обробки сигналів є його простий, але ефективний спосіб представлення сигналу в області частот, з можливістю конвертації його назад у часову область. Типи перетворень Фур'є

можуть бути застосовані до періодичних, аперіодичних та неперервних чи дискретних сигналів. Перетворення Фур'є є розширеною версією ряду Фур'є, де оригінальний сигнал представлений як збірка значень піку сигналу, який конвертується у синусоїди та косинусоїди в області частот. Перетворення Фур'є - це неперервний процес, який в теорії дозволяє конвертованому сигналу тривати нескінчено. Його математичне представлення подано нижче:

$$X(j\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt, \quad (1.1)$$

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} X(j\omega)e^{j\omega t} d\omega. \quad (1.2)$$

Перше рівняння - математичне представлення перетворення Фур'є, яке показує, що можливо представити функцію в часі (оригінальний сигнал) як функцію в частоті (розкладений сигнал). Друге рівняння, з іншого боку, показує, що обернене перетворення Фур'є дозволяє скласти оригінальну функцію назад в області часу без втрати інформації.

Метод емпіричного розкладу ґрунтується на сегментації сигналу на сегменти по 128 вибірок, кожен під-фрейм категоризується як сигнал-домінуючий або шум-домінуючий. Класифікація стосується середньої потужності шуму, пов'язаної з цим під-фреймом, яка описується рівнянням. Тоді цей під-фрейм характеризується як сигнал-домінуючий під-фрейм, в іншому випадку - як шум-домінуючий. У випадку сигнал-домінуючого під-фрейму коефіцієнти не піддаються пороговій обробці, оскільки існує велика ймовірність погіршення мовного сигналу, особливо при високих відношеннях сигнал/шуму (SNR). У випадку шум-домінуючого під-фрейму застосовується порогова обробка.

$$\frac{1}{128} \sum_{k=1}^{128} |X_k^i| \geq \sigma_n^2, \quad (1.3)$$

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \cos \frac{n\pi x}{L} + b_n \sin \frac{n\pi x}{L} \right), \quad (1.4)$$

де σ_n - стандартне відхилення шуму.

Метод емпіричного розкладання також забезпечує розклад сигналу на різні часові шкали або інтрузивні модові функції (IMF). Це означає, що можливо фільтрувати компоненти сигналу окремо, а не лише сигнал цілком. Це означає те, що стратегію фільтрації сигналу цілком можна застосовувати до інтрузивних модових функцій.

Метод розкладу сингулярних значень (SVD) - це математична процедура для розкладу матриці у добуток трьох матриць значень сигналу, який можна переписати як суму матриць рангом одиниця. Крім того, такий метод (SVD) можна цілком розглядати як узагальнення розкладання позитивно визначеної нормальної матриці. Таким чином, він пов'язаний з аналізом головних компонентів спектру сигналу, які часто використовуються для аналізу та представлення даних.

Будь який цифровий сигнал - це масив імпульсів. Такий масив можна представити у вигляді матриці, де значення елемента матриці кодує інформацію про відповідний імпульс. Метод розкладу сингулярних значень надає альтернативний спосіб розкладання матриці, яка може містити корисні дані, ті що нас цікавлять, на більш прості для опрацювання частини. Оскільки цифровий сигнал може бути представлений матрицею, застосування SVD в обробці цифрових сигналів є прямолінійним, в той час як застосування SVD в обробці аналогових сигналів не є можливим.

SVD (Singular Value Decomposition) є стандартним інструментом у сучасній лінійній алгебрі, який дозволяє розклад матриці. Цей інструмент створює сингулярні значення та відповідні ліві та праві сингулярні вектори (власні вектори), які можна вибрати для наближення сигналу. Представлений метод є сигнально-орієнтованим підходом до очищення від шуму, оскільки він виконує власноручний розклад сигналу, який відображається біективно в матрицю. Іншими словами, цей метод "знаходить" підпростір, пов'язаний із бажаним сигналом, та підпростір, пов'язаний із шумом.

Метод NMF-DCT спрямований на оптимізацію обробки та передачі зображень, зокрема обличчя, у системах радіозв'язку. Процес починається з використання негативної матричної факторизації для усунення шуму та отримання базової матриці W та коефіцієнтів H . Ці коефіцієнти відображають внутрішню структуру зображення, що є важливим аспектом в контексті радіозв'язку.

Далі застосовується дискретне косинусне перетворення (DCT) для стиснення відновленого зображення, що дозволяє зберігати значущі інформаційні аспекти при значному скороченні розмірності даних. Використання DCT після NMF забезпечує оптимальну обробку та стиснення зображення перед його передачею по каналах зв'язку.

У вигляді практичного застосування, метод NMF-DCT виявляється особливо корисним в умовах обмежених ресурсів та вузькосмугових каналах радіозв'язку. Відмінна здатність методу працювати при обмежених обчислювальних можливостях та ефективно використовувати обмежену пропускну здатність робить його привабливим для впровадження в різноманітні радіотехнічні системи.

Зокрема, у системах розпізнавання обличчя, технічного бачення та інших застосуваннях, де важлива передача та обробка зображень, метод NMF-DCT може забезпечити не тільки високоефективну обробку даних, але й збереження якості зображень під час їх передачі.

В заключенні, дослідження використання методу NMF-DCT у системах радіозв'язку вказує на потенціал для оптимізації передачі та обробки зображень. Враховуючи високу ступінь стиснення та збереження якості зображень, NMF-DCT може стати цінним інструментом для поліпшення функціональності радіотехнічних систем та забезпечення ефективного обміну інформацією.

Адаптивні фільтри в радіотехніці відіграють ключову роль у зменшенні впливу різноманітних шумів і спотворень на сигнали передачі даних. Ці фільтри є особливо ефективними у змінних умовах середовища та вони адаптують свої параметри в реальному часі для оптимального пониження рівня шуму.

Принцип їх роботи базується на коригуванні вхідного сигналу за допомогою вагового коефіцієнта, який змінюється в режимі реального часу. Вихідний сигнал формується як добуток вагового коефіцієнта та вхідного сигналу, що дозволяє адаптивному фільтру враховувати специфіку шумів та забезпечувати якісну обробку сигналів.

Завдяки зворотньому зв'язку, адаптивні фільтри прагнуть мінімізувати залишковий шум, який присутній у вхідному сигналі. На рисунку 2 у статті показано блок-схему системи з адаптивним фільтром, яка використовується для обчислення вихідного сигналу.

Два основних класи алгоритмів адаптації фільтрів - градієнтні та неградієнтні - надають можливість вибору оптимального методу залежно від конкретного випадку використання. Градієнтні алгоритми використовують техніку градієнтного спуску для мінімізації шуму.

Особливий акцент робиться на застосуванні алгоритмів найменших квадратів, зокрема Least Mean Square (LMS) та Normalized Least Mean Square (NLMS), у системах когнітивного радіо. Наприклад, NLMS є розширенням традиційного LMS, що дозволяє використовувати переглянутий крок адаптації для досягнення оптимальної швидкості збіжності та стійкості системи.

Вказані алгоритми виявили свою ефективність у реальних умовах. Дослідження підтверджують, що NLMS може забезпечити кращу якість передачі даних у порівнянні з традиційним LMS у системах когнітивного радіо, забезпечуючи ефективну роботу каналних еквайзерів та зменшення рівня шуму в умовах реального середовища.

1.2. Ортогональне частотне розділення (OFDM) у когнітивних радіосистемах

Одним із основних аспектів когнітивних радіосистем (КР) є автономна експлуатація локально невикористаного спектру для покращення використання частотного ресурсу. Іншими аспектами є взаємодія між декількома мережами, пристроями та протоколами; адаптація параметрів системи, передачі та прийому без втручання користувача; та здатність розуміти та слідувати діям та

виборам, зробленим користувачами, щоб забезпечувати якнайкращий обмін інформацією між пристроями.

Для досягнення цієї мети, фізична, або ж апаратна складова має бути високогнучкою та адаптивнимю. Одним з варіантів мультिकанальної передачі, відомої як ортогональне частотне розділення (OFDM), є однією з найбільш широко використовуваних технологій у сучасних бездротових комунікаційних системах. OFDM має потенціал врівноважити вищезазначені вимоги КР інтегрально чи з невеликими модифікаціями. Через свої привабливі характеристики, OFDM успішно використовується в численних бездротових стандартах і технологіях. Ми вважаємо, що OFDM відіграє важливу роль у реалізації концепції КР, надаючи перевірену, масштабовану та адаптивну технологію для радіо інтерфейсу.

OFDM - це техніка мультиносійної модуляції, яка може подолати багато проблем, що виникають при високошвидкісних комунікаціях, основною з яких є часова дисперсія. Послідовність символів, що несе дані, розбивається на кілька потоків з меншою швидкістю, і ці потоки передаються на різних несучих частотах. Оскільки це розбиття збільшує тривалість символу на кількість ортогонально перекриваючихся несучих (підносійних), вибіркові шуми впливають лише на невелику частину сигналів. Залишкове міжсимвольне спотворення вилучається за допомогою розширення OFDM-символу за допомогою методу циклічних префіксів (ЦП). Застосовуючи цей метод, OFDM зменшує ефект дисперсії у мультиносійних каналах, які виникають при високих швидкостях передачі даних, і зменшує потребу в складних фільтруючих системах. Інші переваги OFDM включають високу спектральну ефективність, стійкість до інтерференції з вузьким смуговим пропуском (NBI), масштабованість та простоту впровадження за допомогою швидкого перетворення Фур'є (FFT).

Одним з найважливіших елементів концепції когнітивного радіо є можливість вимірювання, відчуття, навчання та усвідомлення важливих умов функціонування. Це включає параметри, пов'язані з характеристиками радіоканалу, наявність спектру, інтерференційна температура та операційні

середовища радіо. Крім того, система повинна бути обізнана з вимогами та застосуваннями користувачів, наявною інфраструктурою мереж та вузлів, місцевими політиками та іншими обмеженнями експлуатації. Когнітивне радіо повинно мати можливість ідентифікації та експлуатації не використовуваних частин спектру швидко та ефективно. В OFDM-системах перетворення з часової області в частотну виконується за допомогою перетворення Фур'є. Таким чином, всі точки частотно-часової сітки в робочому діапазоні OFDM-системи можуть бути проскановані без додаткового обладнання або обчислень завдяки повторному використанню апаратних блоків. З використанням часо-частотної сітки при виборі бінів, які доступні для експлуатації (спектральні отвори), може бути здійснено за допомогою простого тестування гіпотез. Перетворення Фур'є застосовується до отриманого сигналу, де з використанням результатів перетворення приймач намагається виявити наявність первинного користувача в заданому діапазоні. Однак усереднення в часі збільшує затримку приймання. Розмір усереднення (кількість перетворень Фур'є) адаптується для збільшення ефективності в середовищі передачі інформації. Сигнал первинного користувача, як правило, розподілений на групу результатів перетворення, оскільки ширина смуги первинного користувача вважається найбільшою, більше ніж ширина смуги, поділена на розмір ширини однієї підносійної. Використовуючи цей факт, результати фільтруються для усереднення шуму з метою отримання кращої якості прийнятого сигналу.

Щодо активного шумоподавлення, OFDM може бути використаний в системах з активним шумоподавленням для поліпшення якості сигналу. Основна ідея полягає в тому, що OFDM може забезпечити розділення частотних підсмуг, а це може полегшити впровадження технологій шумоподавлення на окремих підсмугах частотного спектра.

У випадку OFDM, де сигнал розділений на частотні підсмуги, метод хвильового перетворення може бути застосований окремо до кожного підсмуги, для подальшого виявлення та подавлення шуму або інтерференції. Це може покращити продуктивність системи та забезпечити кращу якість прийому в умовах інтенсивних завад.

Можливість використання OFDM у пристроях з активним шумоподавленням визначається конкретними характеристиками системи та вимогами до якості сигналу. OFDM може забезпечити ефективний спосіб передачі даних в умовах шуму та перешкод, і комбінування його з технологіями шумоподавлення може покращувати продуктивність системи у навантажених великої кількості радіохвиль середовищах.

1.3. Багатокористувацька система когнітивного радіо з OFDM

Orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM) відмінно підходить для широкосмугових бездротових систем через свій потенціал високої ефективності передачі та меншу вразливість до міжсимвольного втручання. Завдяки своїй гнучкості у розподілі піднесучих, він є відповідним для багатокористувацьких систем зв'язку. Діаграма системи розподілу для багатокористувацької системи показана на Рисунку 1. Ми припускаємо, що в системі, зображеній на рисунку, існує K користувачів, і кожен k -й користувач має однакову швидкість передачі даних R_k . На рисунку припускається апріорна інформація про стан каналу. Блоки розподілу піднесучих і бітів використовуються для розподілу бітів. Алгоритми блоків комбінованого розподілу піднесучих, бітів та потужності використовуються для коригування кількості бітів/OFDM символу на кожній піднесучій.

Зазвичай при OFDM використовується один вид модуляції піднесучих для кожного з каналів. У модуляції OFDM з адаптацією будь-яку піднесучу можна вимкнути, щоб радіо дійсно реалізувало адаптивну модуляцію. Адаптивний OFDM може використовуватися в когнітивному радіо, де вторинним користувачам дозволяється використовувати невикористані частотні смуги, призначені для основних користувачів. Таким чином, для того щоб OFDM працював для SU, необхідно вимкнути піднесучі в частотних смугах, які використовуються PU.

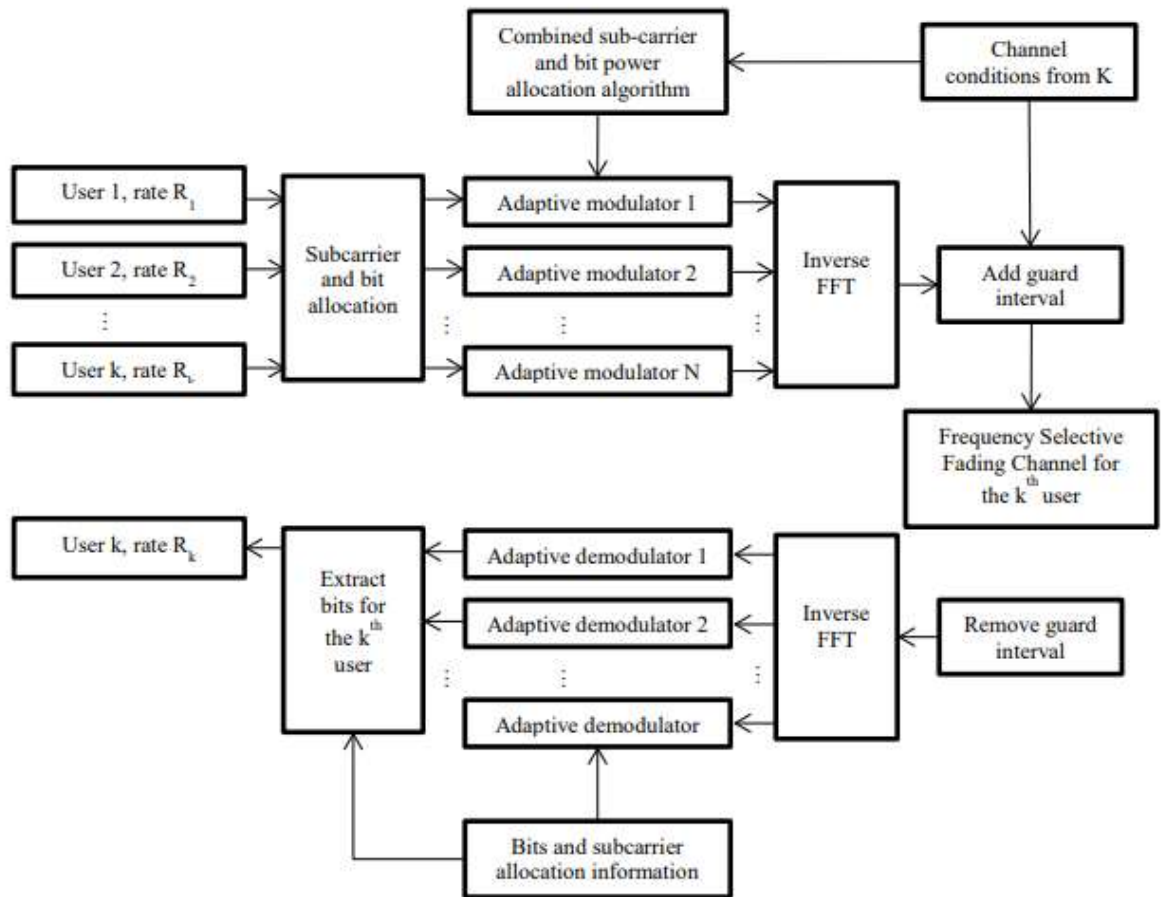


Рис. 1.1. - Блок-схема багатокористувацької OFDM-системи з розподілом бітів та потужностей сигналів.[3]

Для вимкнення певних піднесучих намірено встановлюється амплітуда цих несучих на нуль перед оберненим перетворенням Фур'є. Обернений перетворення генерує сигнал OFDM, де видно, що деякі несучі вимкнуті. Те, що деякі несучі частоти вимкнуті, не видно у часовому домені. Однак представляємо симульовані спектри в частотній області, де деякі несучі чітко використовуються, а інші вимкнуті. За допомогою симуляцій методом Монте-Карло з використанням Matlab ми можемо показати продуктивність BER/SER для сценаріїв, де вимкнені піднесучі, і порівняти їх з теоретичними виразами BER/SER як функцією зростання відношення сигнал/шум (SNR).

1.4. Ефект Доплера в радіотехніці

Доплерівський ефект, названий на честь австрійського фізика Крістіана Доплера, представляє собою явище, що впливає на частоту хвиль в залежності

від відносного руху джерела хвиль і приймача. У контексті прийому радіохвиль це означає, що частота радіохвиль може змінюватися в залежності від руху джерела (наприклад, радіостанції) і приймача (наприклад, радіоприймача).

Коли джерело і приймач рухаються одне до одного, частота радіохвиль збільшується. Це відбувається через те, що хвилі стискаються, зменшуючи відстань між ними, і, отже, збільшуючи кількість хвиль, які досягають приймача за секунду. Це відомо як синій зсув, адже це аналогічно зміщенню світлових хвиль до синього кінця спектра під час їх стискання.

Навпаки, коли джерело і приймач віддаляються один від одного, частота радіохвиль зменшується. Хвилі розтягуються, збільшуючи відстань між ними, і, отже, зменшуючи кількість хвиль, які досягають приймача за секунду. Це відомо як червоний зсув, адже це аналогічно зміщенню світлових хвиль до червоного кінця спектра під час їх розтягання.

Доплерівський ефект може мати значущі наслідки для прийому радіохвиль. Наприклад, це може призводити до зміни звучання радіостанцій в залежності від місця і руху слухача. Тому можна помітити, що радіостанція звучить трошки вище, коли ви рухаєтеся до неї, і трошки нижче, коли ви віддаляєтеся від неї.

Значення Доплерівського ефекту виявляється в технологіях, таких як радар та супутникове зв'язку. У використанні радару, Доплерівський ефект використовується для визначення швидкості руху об'єкта шляхом аналізу зміни частоти повернутих радіохвиль. Це може бути важливим при визначенні руху повітряних суден або автомобілів.

У супутниковому зв'язку, Доплерівський ефект також враховується для забезпечення точності передачі сигналів. Рух супутника та станції на землі може викликати значні зсуви частоти сигналу, і це повинно бути враховано для забезпечення надійної та точної передачі інформації.

Доплерівський ефект визначає важливий аспект в зміні частоти радіохвиль залежно від руху джерела і приймача. Розуміння цього ефекту є ключовим для вдосконалення технологій радіозв'язку, таких як радіостанції,

радари та супутниковий зв'язок, для забезпечення їх ефективності та точності у різних умовах.

1.5. Висновки до розділу 1

У контексті бездротових зв'язків і систем передачі інформації, боротьба з шумом визначається як критичний аспект для забезпечення високоякісної та ефективної передачі сигналів. Розглянуті вище методи боротьби з шумом включають адаптивні фільтри, методи зменшення розміру даних, такі як методи зменшення розмірів та стиск, а також техніки активного шумопоглинання.

Адаптивність є однією з ключових вимог до когнітивного радіо. Шляхом поєднання зібраної інформації (усвідомлення) зі знанням поточних можливостей та обмежень системи, КР може виконувати різноманітні завдання. КР може адаптувати спектри сигналів для взаємодії з іншими засобами телекомунікацій, обирати найбільш відповідний комунікаційний канал чи мережу для передачі і виділяти оптимальну частоту для передачі в вільному діапазоні спектра.

У сфері активного шумопоглинання важливе значення має розуміння і врахування ефекту Доплера. Цей ефект використовується для аналізу та компенсації частотних змін, які виникають при русі джерела сигналу та приймача відносно одне одного. Його успішне впровадження в системи активного шумопоглинання дозволяє здійснювати ефективний контроль за шумами та забезпечує стабільну роботу системи у змінних умовах.

Загалом, враховуючи особливості та ефективність кожного методу, можна визначити оптимальний підхід до боротьби з шумом в конкретних сценаріях. Адаптивні фільтри є важливою складовою для надійної передачі інформації, тоді як техніки стиску та активного шумопоглинання доповнюють їх ефективність. Такий комплексний підхід забезпечить високий рівень якості та продуктивності у бездротових комунікаціях та схожих системах передачі інформації.

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1. Принципи OFDM

OFDM використовує піднесучі з частотним розділенням $1/T$, де T - період символу. Інформація α_k , що передається на кожній піднесучій k , множиться на відповідну піднесучу, як показано нижче згідно формули 2.1:

$$g_k(t) = \frac{1}{\sqrt{T}} e^{j\frac{2\pi kt}{T}} \omega(t), \quad 2.1$$

де $\omega(t)$ - прямокутне вікно на проміжку $[0, T]$. Математично сигнал передачі $s(t)$ задається формулою 2.2:

$$s(t) = \alpha_0 g_0(t) + \alpha_1 g_1(t) + \dots + \alpha_{K-1} g_{K-1}(t) = \sum_{k=0}^{K-1} \alpha_k g_k(t). \quad 2.2$$

Кожен інформаційний сигнал α_k множить комплексну синусоїду з частотою k/T . Модульовані піднесучі додаються, і результуючий сигнал надсилається як $s(t)$. У OFDM-приймачі отриманий сигнал множиться на банк кореляторів і інтегрується інтегрується протягом періоду символу. Концепція OFDM модулятора показана на Рисунок 2.1.

Двійкові дані відображаються символами піднесучих за допомогою таких схем модуляції, як QPSK і 16QAM. Отримане відображення подається на зворотне швидке перетворення Фур'є (ШПФ) від модуляції несучої в базовій смузі. Додається захисний інтервал і формується імпульс за допомогою схеми цифро-аналогового (ЦАП) перетворювача. Врешті-решт, аналогові сигнали множаться на несучі сигнали, і отримані канали I і Q додаються.

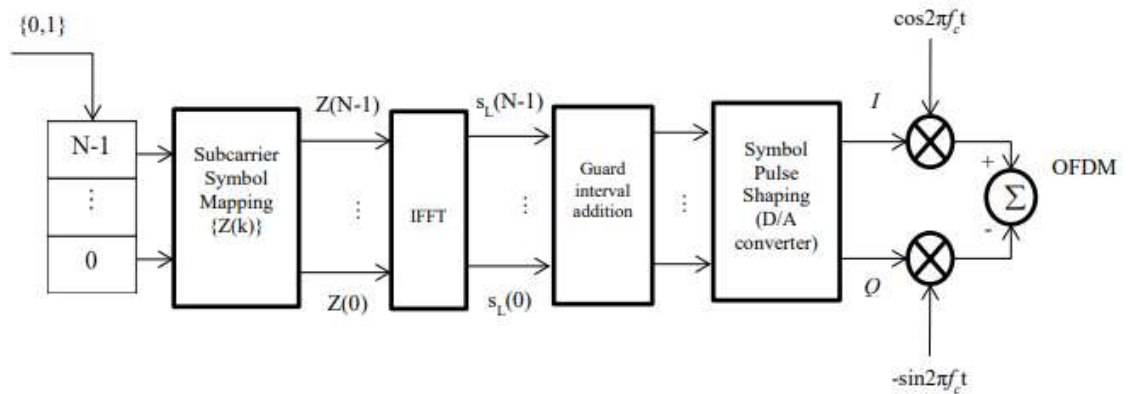


Рис. 2.1. – Блок-схема OFDM модулятора.[3]

2.2. Теоретична реалізація OFDM з квадратурною амплітудною та квадратурною фазовою модуляцією

У роботі досліджується застосування когнітивного радіо (CR) з точки зору доплерівського зсуву на адаптивному модуляційному методі ортогонального частотного розміщення (OFDM). Адаптивний OFDM може бути використаний у системах когнітивного радіо, де вторинним користувачам (SU) дозволяється використовувати частотні смуги, призначені для основних користувачів (PU), які не використовуються. Таким чином, для того щоб OFDM працював для SU, необхідно вимкнути піднесучі в частотних смугах, які використовуються PU.

Ми представляємо симульовані спектри у частотній області, де деякі несучі використовуються, а інші вимкнені. З використанням симуляцій методом Монте-Карло з використанням Matlab ми можемо показати криві продуктивності співвідношення бітової помилки (BER) та співвідношення помилок символів (SER) для деяких сценаріїв, де піднесучі вимкнені, і порівняти їх із теоретичними виразами BER та SER як функції зростання відношення сигнал/шум (SNR). У Таблиці 1 ми показуємо використання піднесучих в одному з наших сценаріїв симуляції. Ми використовуємо модуляцію з квадратурно-фазовим ключуванням (QPSK) з OFDM, де перші чотири та треті піднесучі використовуються, а другі та останні чотири вимкнені. BER та SER для цього сценарію (4 ON, 4 OFF, 4 ON і 4 OFF піднесучі з QPSK-OFDM). Ми спостерігаємо, що BER та SER, отримані за допомогою

симуляції методом Монте-Карло, добре узгоджуються з теоретичними відношеннями бітової помилки та відношення помилок символів для модуляції QPSK. У цій дисертації ми також розглядаємо кілька інших сценаріїв, в яких є вісім піднесучих (4 ON, 4 OFF), 12 піднесучих (4 ON, 4 OFF, 4 ON) та 16 піднесучих (4 ON, 4 OFF, 4 ON, 4 OFF) з QPSK та 16QAM (16-амплітудна квадратурна модуляція). Результати цих сценаріїв показують, що BER та SER для кожного сценарію добре узгоджуються з теоретичними відношеннями BER та SER для QPSK або 16QAM.

Таблиця 2.1

Використання піднесучих OFDM на 16-ти піднесучих: перші чотири і треті чотири піднесучі використовуються для QPSK, а другі чотири та останні чотири піднесучі не задіяні

Пн 1-4	Пн 5-8	Пн 9-12	Пн 13-16
QPSK	Off	QPSK	Off

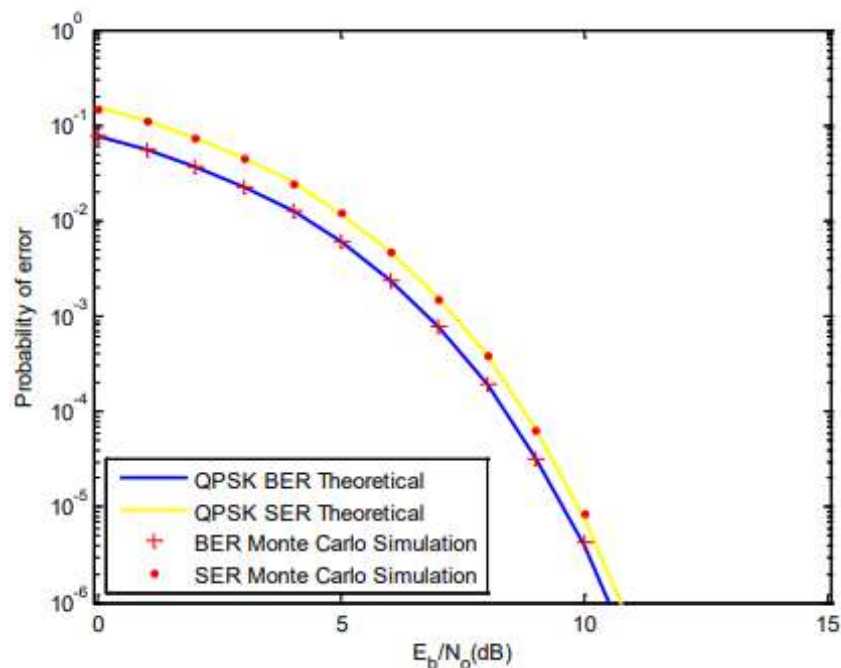


Рис. 2.2. - Криві продуктивності для 16 піднесучих (4 увімкнено, 4 вимкнено, 4 увімкнено, 4 вимкнено).[13]

У цій роботі ми також розглядаємо зміну співвідношення потужностей для конкретного сценарію з 12 піднесучими (4 ON, 4 OFF, 4 ON). Ми дозволяємо використовувати перші та останні чотири піднесучі. У цьому сценарії ми налаштовуємо середнє співвідношення потужностей між першими чотирма піднесучими та останніми чотирма піднесучими, при цьому сума загальної потужності піднесучих залишається незмінною. Зауважте, що середні чотири піднесучі вимкнені. Іншими словами, набір каналів у середині не використовується, і дві смуги, які використовуються, мають різну потужність. Криві продуктивності з симуляцій, в яких ми використовуємо QPSK як схему модуляції у використаних смугах, показані на рисунку 2.3. Співвідношення потужностей 1:1 призводить до найкращої продуктивності, що означає, що рівномірне розподіл потужності є найкращим, коли кількість піднесучих у доступних смугах рівна. Іншими словами, зі збільшенням співвідношення потужностей між двома наборами піднесучих продуктивність погіршується. Висновок цієї симуляції полягає в тому, що рівномірний розподіл потужності є найкращим для OFDM з використанням тієї ж самої схеми модуляції та однакової кількості піднесучих (коли доступні для використання дві чи більше смуги).

Останню тему, яку ми розглядали, було сценарій когнітивного радіо з двома користувачами. На рисунку 2.4 показані передавачі (TX) та приймачі (Rx) основного користувача (PU) та вторинного користувача (SU). У цьому сценарії сигнал SU може виступати як перешкода для PU. У цьому наборі симуляцій ми досліджуємо вплив на продуктивність PU шляхом зміни доплерівського зсуву для спектру SU. Крім того, ми також змінюємо співвідношення потужностей PU до SU, що еквівалентно є співвідношенням сигнал-перешкода (SIR), в той час як змінюється доплерівське зміщення. Ми використовуємо 16 піднесучих (4 ON, 4 OFF, 4 ON, 4 OFF) для PU та (4 OFF, 4 ON, 4 OFF, 4 OFF) для SU. Іншими словами, SU використовує один із порожніх каналів. З цими налаштуваннями ми генеруємо BER та SER для PU при зміні SIR та відсотка частотного зміщення.

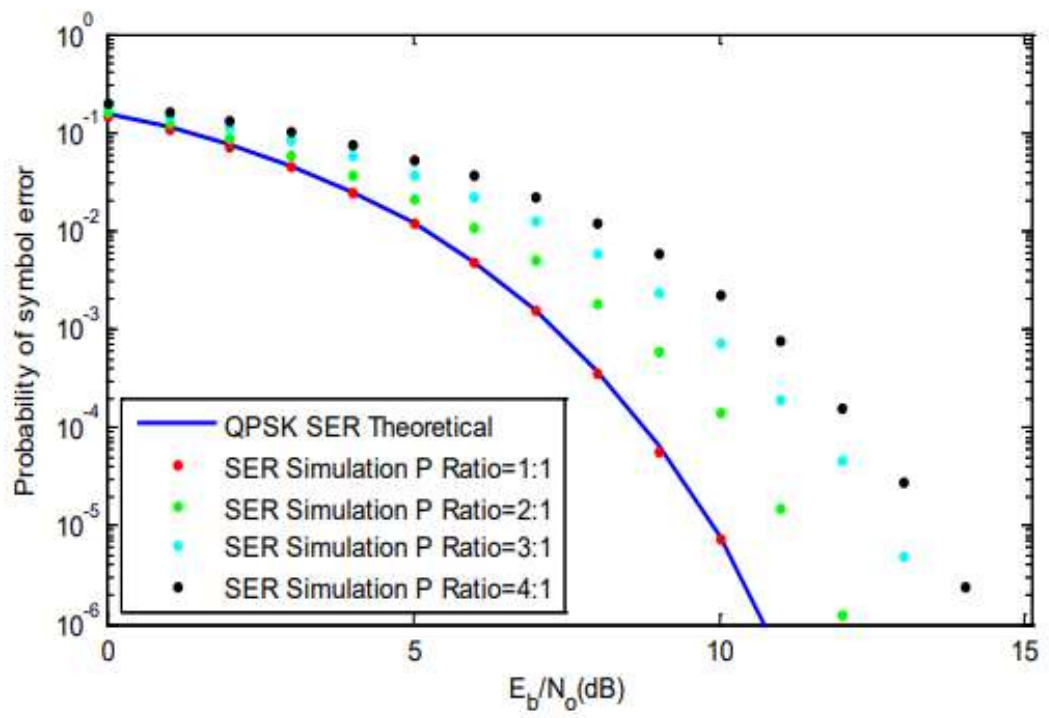
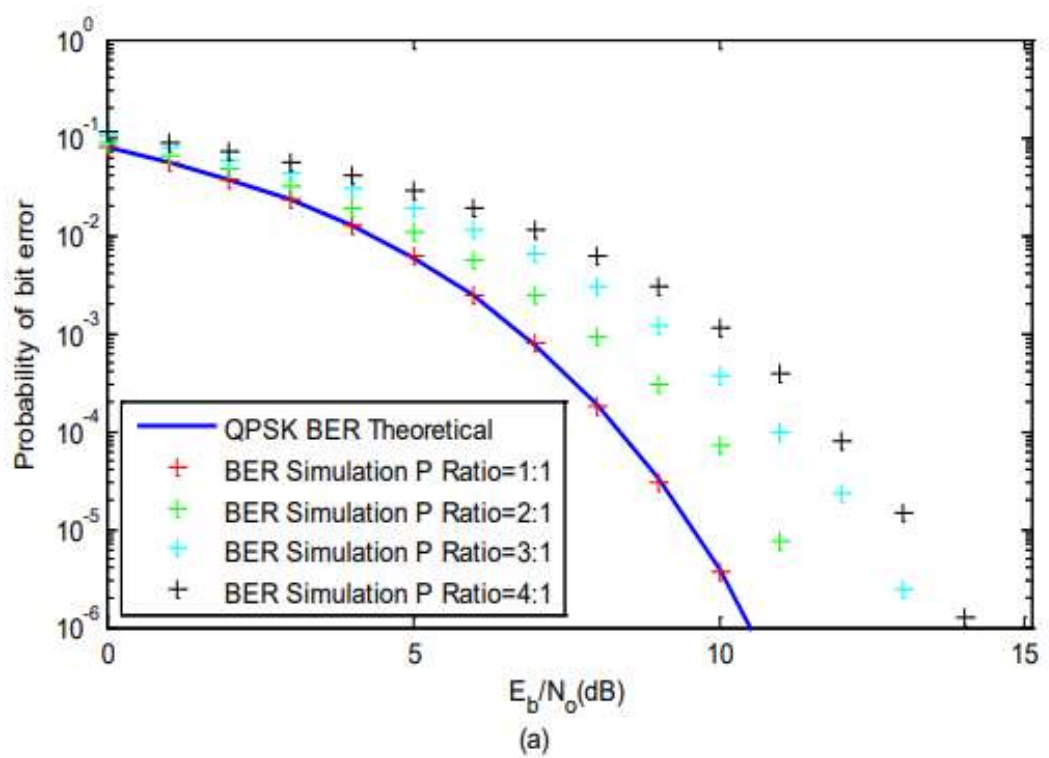


Рис. 2.3. - Криві продуктивності для сценарію з 12 піднесучими (4 увімкнено, 4 вимкнено, 4 увімкнено, QPSK) в залежності відспіввідношення потужностей: (a) побітна помилка; (b) символна помилка.[13]

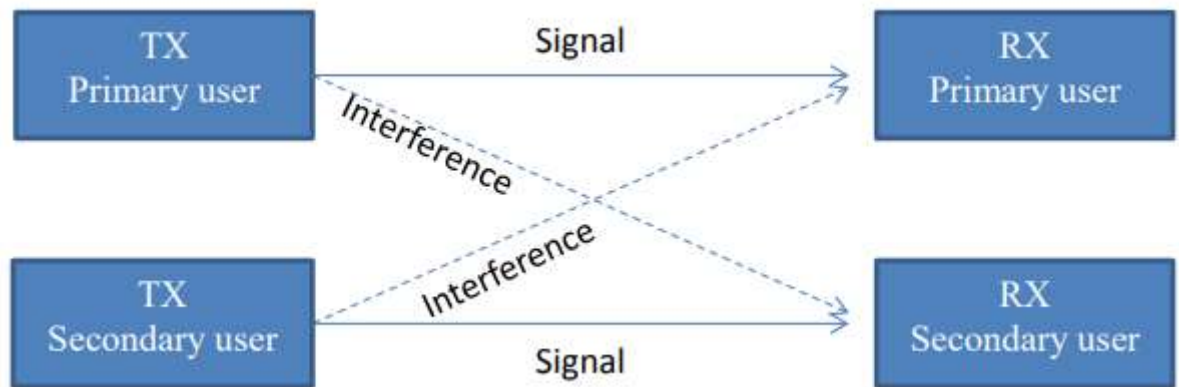


Рис. 2.4. - Концептуальна схема передачі та прийому в двокористувацькій системі когнітивного радіо, де Доплерівські зсуви можуть призвести до інтерференції.[12]

На рисунку 2.5 показано один із наборів BER/SER для PU як функції доплерівського зсуву при $SIR=0$. Результати показують, що без частотного зміщення продуктивність SU гарно узгоджується з теоретичною кривою BER/SER для QPSK. З частотним зміщенням, при збільшенні частотного зміщення, BER/SER для PU погіршується. При збільшенні SIR, утримуючи частотне зміщення постійним, ми спостерігаємо поліпшену продуктивність BER/SER для PU. Ми приходимо до висновку, що більше частотне зміщення для SU призводить до гіршої продуктивності для PU, а більше значення SIR для приймача PU при утриманні доплерівського зсуву постійним призводить до кращої продуктивності, як і очікувалося.

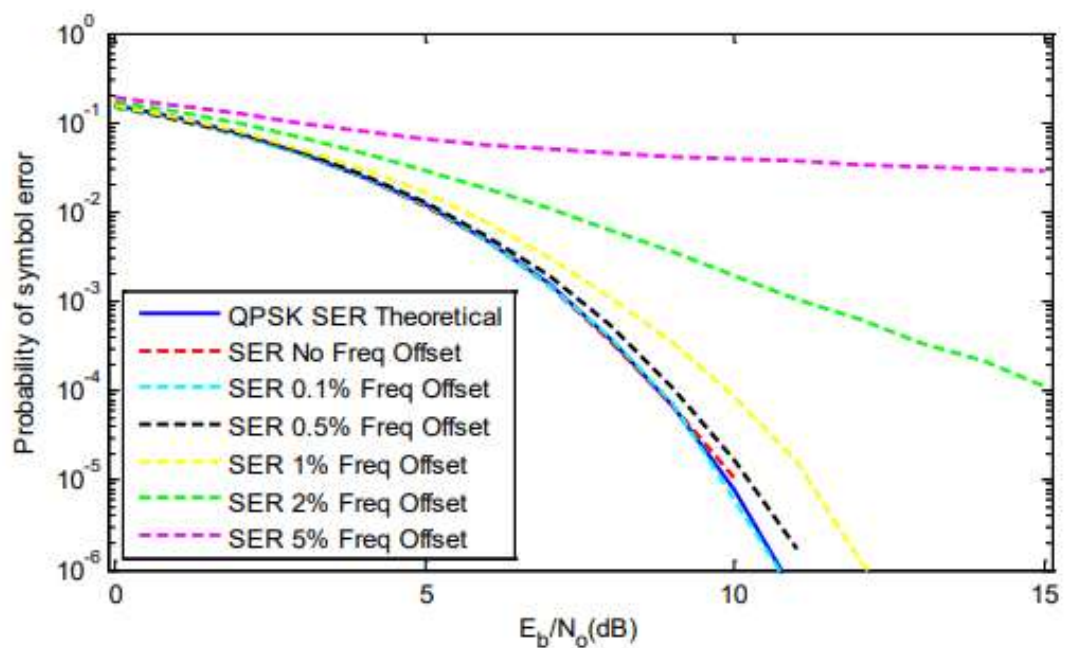
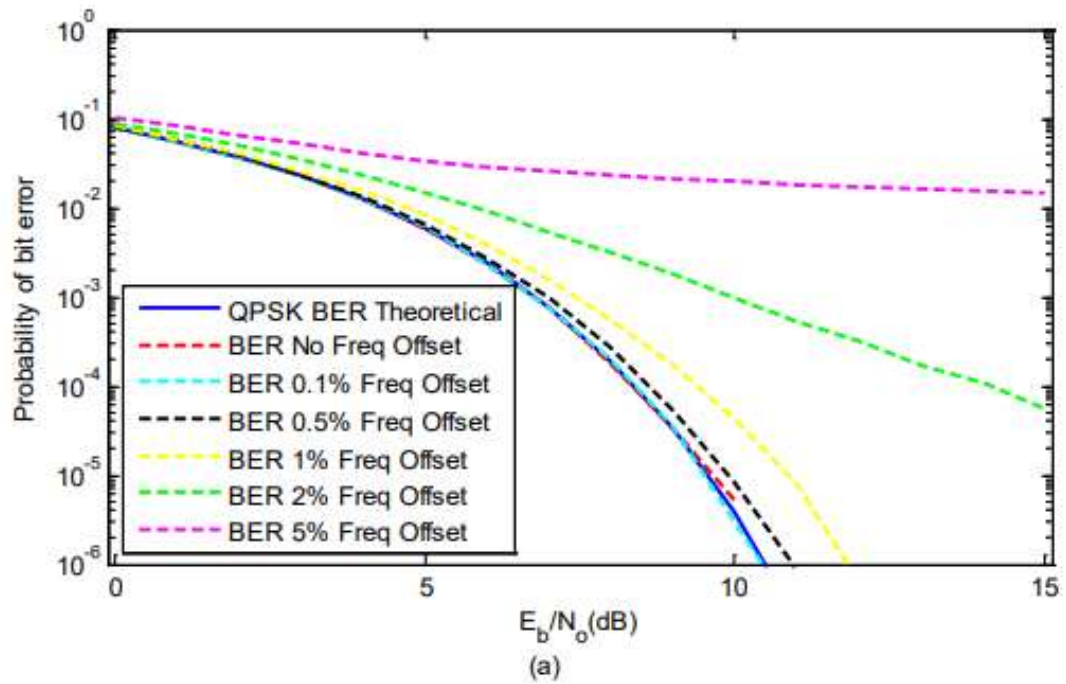


Рис. 2.5. - Показники BER ПУ як функція доплерівського зсуву на СУ, де % - це відсоток частотного зсуву, який більший від доступної смуги пропускання ПУ: (а) BER при SIR = 0 дБ; (б) SER при SIR = 0 дБ. [16]

2.3 Модуляція 16QAM з OFDM

16QAM має 16 символів, і кожен символ представляє чотири біти. На рисунку 2.6 показані символи з різними фазами та амплітудами. Алфавіт символів 16QAM α 16QAM задається

$$\alpha_{16QAM} = \{\pm 3 \pm 3j, \pm 3 \pm j, \pm 1 \pm 3j, \pm 1 \pm j\}. \quad 2.3$$

У цій конфігурації середня енергія E16QAM рівна десяти.

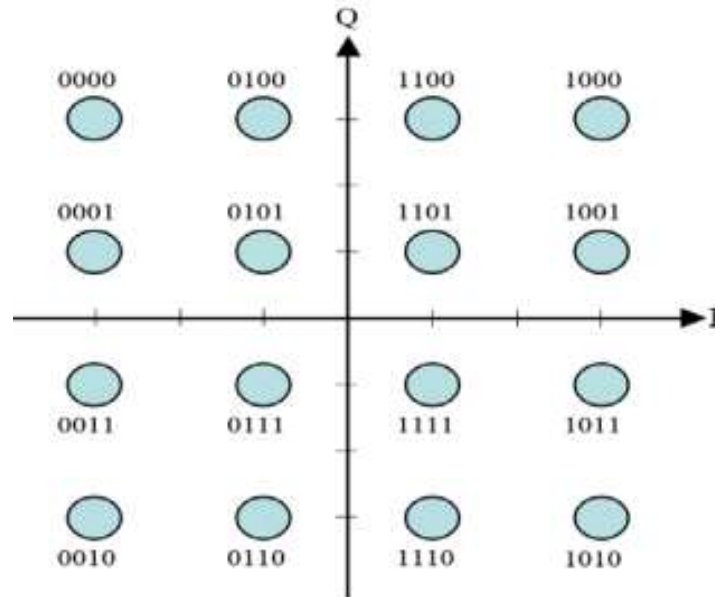


Рис. 2.6. - Графік для 16-QAM з кодуванням Грея

Середня енергія символу для 16QAM дорівнює E_S . Ймовірність бітової помилки визначається згідно з формулою 2.2:

$$P_{b,16QAM} = \frac{3}{8} Q \left(\sqrt{\frac{4E_b}{10N_o}} \right). \quad 2.4$$

Відповідні значення SER наведено згідно формули 2.5:

$$P_{s,16QAM} = \frac{3}{2} Q \left(\sqrt{\frac{E_s}{10N_o}} \right). \quad 2.5$$

У таблиці 2.2 продемонстровано використання OFDM каналів, в яких вісім піднесучих використовуються і чотири ні.

Використання 12 піднесучих OFDM: перші чотири та останні чотири піднесучих використовуються для 16QAM, а середні чотири піднесучі вимкнені

Пн 1-4	Пн 5-8	Пн 9-12
Символи 16QAM	Off	Символи 16QAM

На рисунку 2.7 чітко видно, що нулі спектрів відповідають чотирьом піднесучим у середніх смугах. Оскільки ці піднесучі ортогональні, спектральний розлив не призводить до помилок (за умови збереження ортогональності). BER та SER для цього сценарію (4 ON, 4 OFF та 4 ON піднесучих з 16QAM-OFDM). Ми спостерігаємо, що BER/SER, отримані за допомогою симуляції методом Монте-Карло, добре узгоджуються з теоретичними BER/SER для модуляції 16QAM, як це визначено рівняннями (2.4) і (2.5).

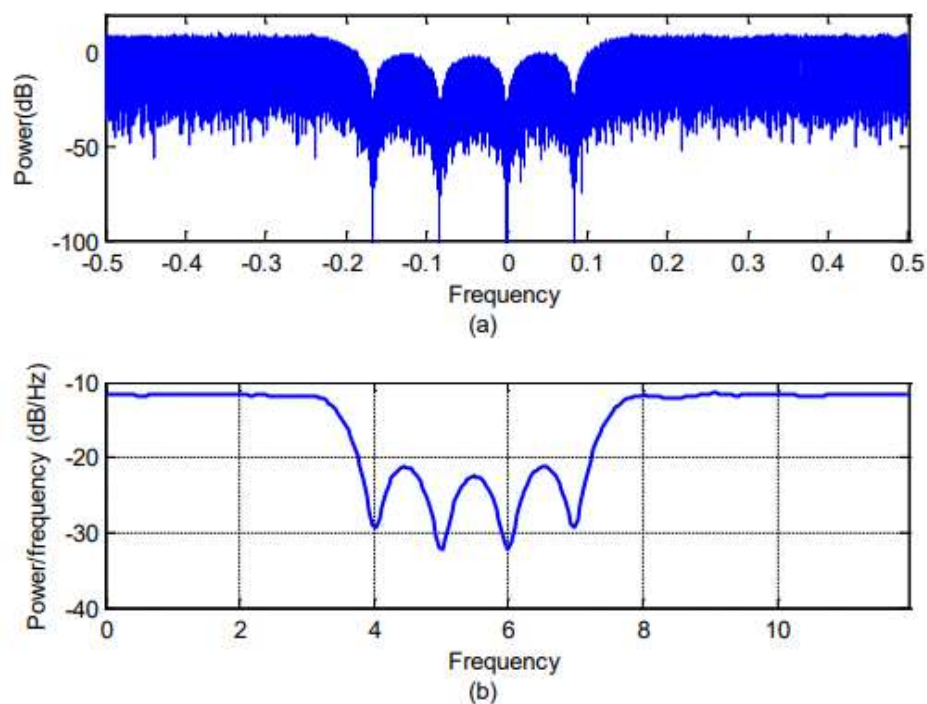


Рис. 2.7. - PSD для випадково згенерованих символів 16QAM-OFDM для 12 піднесучих(4-ON, 4-OFF, 4-ON): (a) без фільтрації; (b) PSD за оцінкою Велча. [23]

2.4. Модуляція QPSK з OFDM

QPSK - це схема модуляції з використанням чотирьох різних фазових символів, як показано на рисунку 2.8. Алфавіт символів QPSK α_{QPSK} задається наступним чином:

$$\alpha_{QPSK} = \{\pm 1 \pm j\}. \quad 2.6$$

Кожен символ представляє два біти. Сусідні символи ортогональні один до одного через 90-градусну відстань між символами. На рисунку 2.8 кожен сусідній символ відрізняється лише одним бітом. Він закодований сірим кольором для мінімізації коефіцієнта бітових помилок (BER).

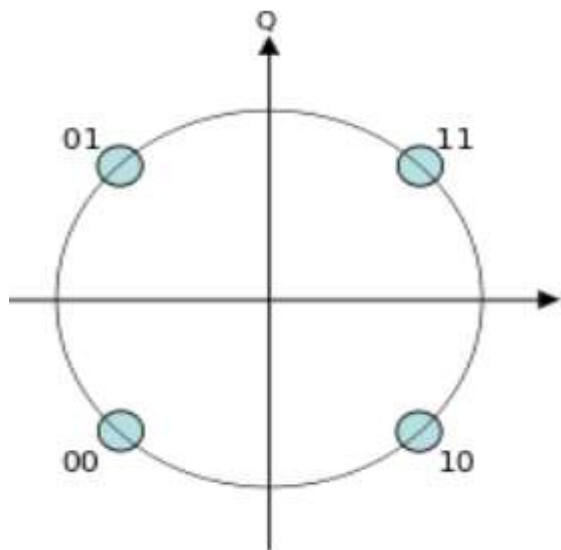


Рис. 2.8. - Графік для QPSK з кодуванням Грея.

Середня енергія символу QPSK дорівнює E_S . Ймовірність бітової помилки, яку іноді називають BER, визначається за формулою 2.7

$$P_{b.QPSK} = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_o}}\right). \quad 2.7$$

Відповідний коефіцієнт символних помилок (SER) визначається за формулою 2.8.

$$P_{s.QPSK} = 1 - (1 - P_b)^2 = 2Q\left(\sqrt{\frac{E_s}{N_o}}\right) - \left[Q\left(\sqrt{\frac{E_s}{N_o}}\right)\right]^2. \quad 2.8$$

Другий член рівняння (2.8) є незначущим при високому SNR, тому рівняння SER зводиться до формули 2.9:

$$P_{s.QPSK} \approx 2Q\left(\sqrt{\frac{E_s}{N_o}}\right). \quad 2.9$$

У таблиці 2.3 ми показуємо використання каналів OFDM, в яких використовуються вісім піднесучих, а чотири ні.

Таблиця 2.3

Використання 12 піднесучих OFDM: перші чотири та останні чотири піднесучих використовуються для QPSK, а середні чотири піднесучі вимкнені.

Пн 1-4	Пн 5-8	Пн 9-12
Символ QPSK	Off	Символ QPSK

На рисунку 2.9 видно, що нулі спектрів відповідають чотирьом підносіям у середніх діапазонах. Оскільки ці піднесучі ортогональні, спектральне розсіювання не призводить до помилок, якщо ці смуги потрапляють у нібито невикористовувані смуги (за умови збереження ортогональності). Значення BER та SER для цього сценарію (4-ON, 4-OFF і 4-ON піднесучі з QPSK-OFDM) показано на рисунку 2.10. Ми бачимо, що значення BER/SER, отримані в результаті моделювання методом Монте-Карло, добре узгоджуються з добре узгоджується з теоретичним значенням BER/SER для QPSK модуляції, як це продиктовано рівняннями (2.4) і (2.5).

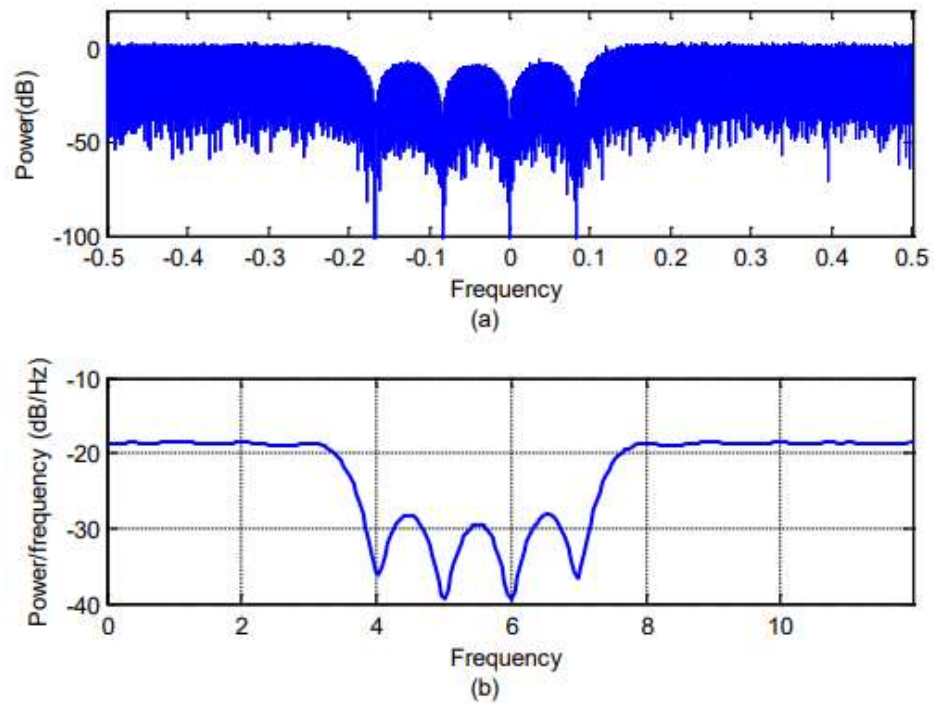


Рис. 2.9. - PSD для випадково згенерованих символів QPSK-OFDM для 12 піднесучих (4-ON, 4-OFF, 4-ON): (a) без фільтрації; (b) PSD за Велчем.[23]

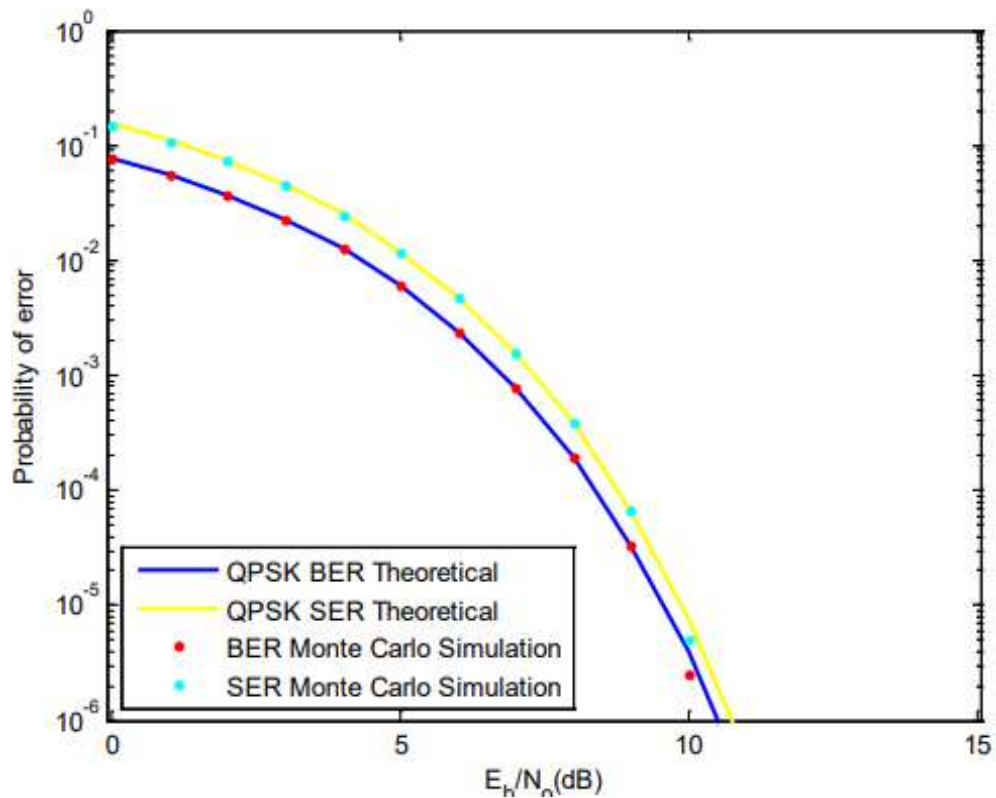


Рис. 2.10. - Криві продуктивності для сценарію з 12 піднесучими (4 увімкнено, 4 вимкнено, 4 увімкнено, QPSK OFDM) порівняно з E_b/N_0 . [23]

РОЗДІЛ 3

НАУКОВО-ДОСЛІДНА РОБОТА

3.1. Дослідження впливу ефекту Доплера на системи з OFDM

У цьому розділі досліджується, що відбувається, коли до первинного користувача, який використовує певну частину доступного пропускнуго обсягу, приєднується вторинний користувач, який вирішує використовувати частину доступного пропускнуго обсягу, яку не використовує первинний користувач. Це класичний сценарій когнітивного радіо з двома користувачами, який умовно використовує активне шумоподавлення. Невикористана смуга, яка відповідає не використовуваним піднесучим частотам для OFDM, називається спектральною діркою або білим простором. Хоча кілька користувачів можуть фактично бути зацікавлені в використанні спектра, витягнення кривих продуктивності для сценарію з багатьма користувачами за допомогою симуляцій методом Монте-Карло стає дуже витратним ресурсом і виходить за межі обсягу цієї роботи. Таким чином, ми концентруємося на класичному сценарії з двома користувачами, де один є PU, а інший — SU.

На практиці може відбуватися так, що PU фактично використовує іншу модуляцію, ніж SU. Очевидно, ми не можемо дослідити всі комбінації модуляцій між PU та SU. Фактично, в деяких джерелах когнітивного радіо рекомендується для ефективного використання спектра те, щоб обидва користувачі використовували однаковий тип модуляції. Зокрема, більшість досліджень у сфері когнітивного радіо вказують на використання адаптивного OFDM, тобто OFDM, в якому одну або групу піднесучих можна вимикати.

3.2. Системи із ортогональним розділенням частот (OFDM) за відсутності доплерівського зсуву частот.

Існує ймовірність того, що вторинний користувач та первинний користувач можуть заважати один одному. Коли сигнали, отримані від PU та SU не мають доплерівського зсуву, тоді показники BER і SER для SU/PU повинні добре узгоджуватися з очікуваними теоретичними результатами за

умови, що вони реалізують один і той самий тип модуляції OFDM (як було обговорено раніше). Насправді це дійсно так незалежно від їх співвідношення потужностей. Це пояснюється тим, що піднесучі залишаються ортогональними. Ми виконуємо різні симуляції, в яких ПУ використовує канал (частину спектру з чотирма піднесучими) спектра, а SU використовує два канали (два канали з чотирма піднесучими).

3.3. Вплив ефекту доплерівського зсуву частоти на OFDM системи із QPSK модуляцією

У цьому розділі оцінюється вплив зсуву частоти або доплерівського зсуву внаслідок відносного руху між передавачем і приймачем. Доплерівський зсув призводить до того, що можна розглядати як міжносійне втручання (ICI) при отриманні символів, модульованих OFDM. Щоб дослідити відношення між SIR та продуктивністю у термінах BER/SER як функції частотного зміщення, ми виконуємо симуляції за різних значень SIR (-6 дБ, -3 дБ, 0 дБ, 3 дБ, 6 дБ, 10 дБ). Зокрема, ми змінюємо частотне зміщення SU вздовж доступної пропускної здатності PU на 0,1%, 0,5%, 1%, 2% та 5%. Наприклад, якщо весь пропускний обсяг становить 100 МГц, то 1% доплерівського зсуву складає 1 МГц. Однак у наших симуляціях для зручності весь доступний пропускний обсяг нормалізується до одиниці.

Ми розглядаємо випадок, коли $SIR = -6$ дБ, що означає, що сума потужності сигналу SU приблизно в чотири рази більша, ніж сума потужності сигналу PU, при зміні доплерівського зсуву. Це означає, що піднесучі сигналів PU та SU не будуть ортогональні. Оскільки ці піднесучі не є ортогональними, спектральне розливання призводить до помилок. BER та SER для різних частотних зміщень показані на рисунку 3.3. Ми спостерігаємо, що пара BER/SER, отримана за допомогою симуляції методом Монте-Карло у середовищі, погано узгоджується з теоретичними BER/SER для модуляції QPSK, як це визначено рівняннями (2.7) і (2.9), крім випадку відсутності частотного зміщення. BER та SER погіршуються разом із погіршенням частотного зміщення.

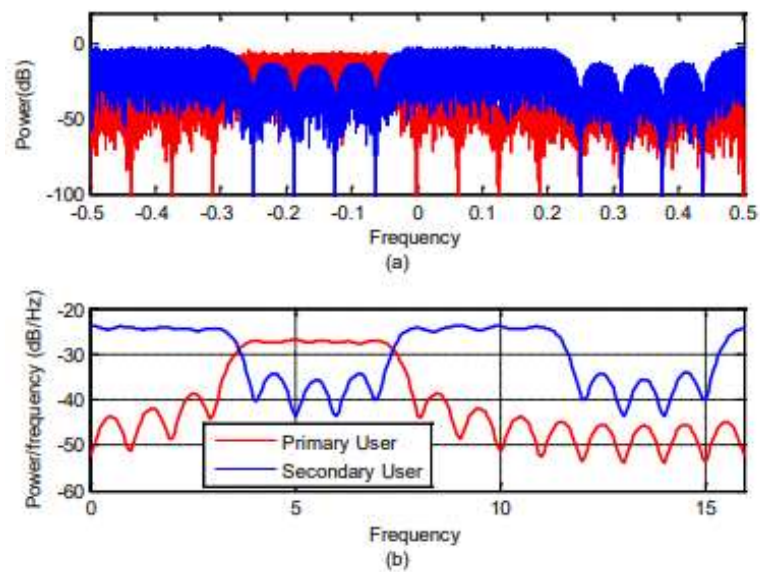


Рис. 3.1. - PSD ПУ і СУ з використанням QPSK-OFDM, де відношення потужності ПУ до потужності СУ становить -6 дБ (SIR): (а) нефільтрований PSD; (б) оцінений за Велшем PSD.

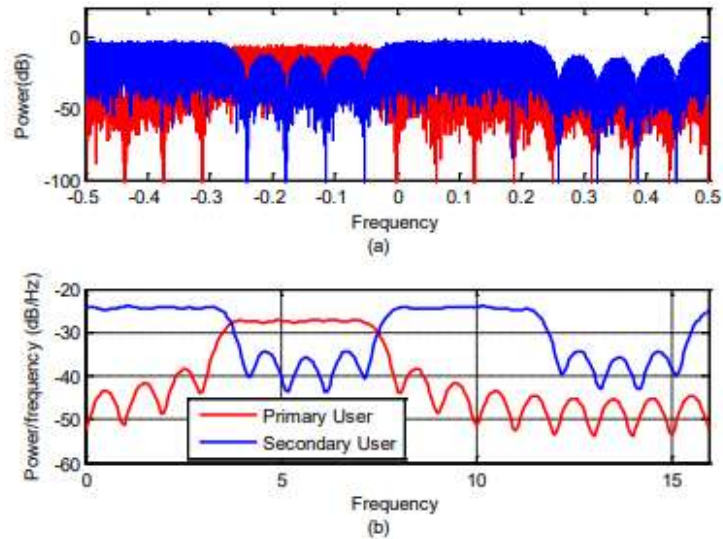


Рис. 3.2. - PSD PU та SU з використанням QPSK-OFDM, де співвідношення потужностей PU та SU становить -6 дБ (SIR), а SU є доплерівським зсувом на 1% частоти по відношенню до доступної смуги пропускання ПУ: (а) нефільтрований PSD; (б) оцінен за Велшем PSD.

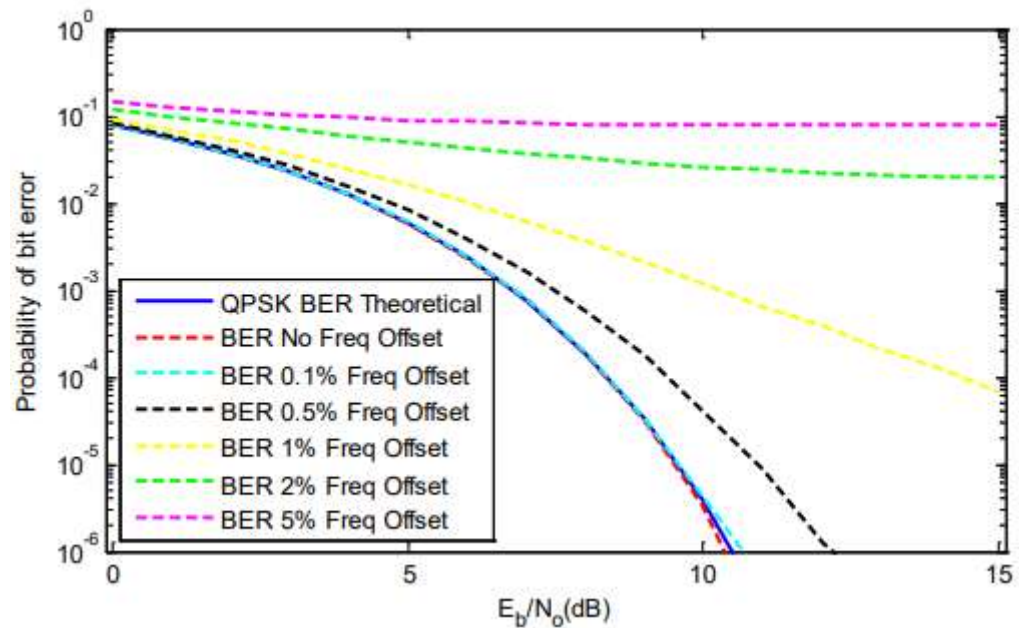


Рис. 3.3. - Показники BER при Доплерівському зсуві частоти, де % - це відсоток частотний зсув у відсотках від доступної смуги пропускання.

Ми розглядаємо випадок, коли $SIR = -3$ дБ, що означає, що сума потужності сигналу SU приблизно вдвічі більша, ніж сума потужності сигналу PU, при зміні доплерівського зсуву. Цей сценарій показано на рисунку 3.1. На рисунку 3.2 ми показуємо спектри, коли доплерівський зсув SU становить 1% від доступного пропускнуго обсягу PU. Зверніть увагу на невелике частотне зміщення (в порівнянні із спектром SU на рисунку 3.1). Це означає, що піднесучі сигналів PU та SU не є ортогональними. Оскільки ці піднесучі не є ортогональними, спектральне розливання призводить до помилок. BER та SER для різних частотних зміщень показані на рисунку 3.3. Ми спостерігаємо, що пара BER/SER, отримана за допомогою симуляції методом Монте-Карло, погано узгоджується з теоретичними BER/SER для модуляції QPSK, як це визначено рівняннями (2.7) і (2.9), крім випадку відсутності частотного зміщення. BER та SER погіршуються разом із погіршенням частотного зміщення.

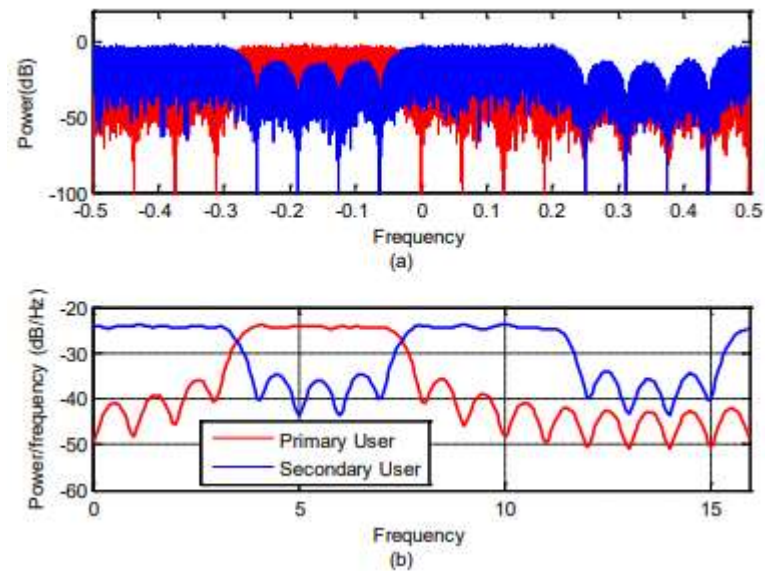


Рис. 3.4. - PSD ПУ і СУ з використанням QPSK-OFDM, де відношення потужності ПУ до потужності СУ становить -3 дБ (SIR): (а) нефільтрований PSD; (б) оцінений за Велшем PSD.

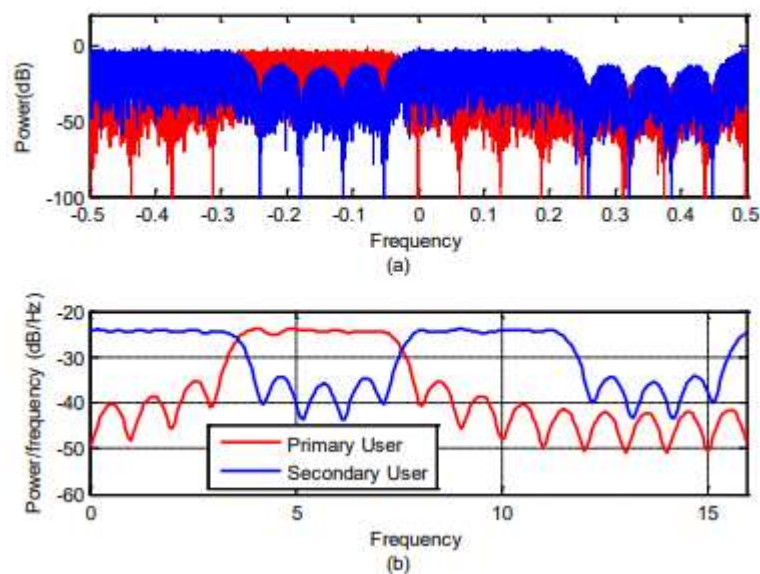


Рис. 3.5. - PSD PU та SU з використанням QPSK-OFDM, де співвідношення потужностей PU та SU становить -3 дБ (SIR), а SU є доплерівським зсувом на 1% частоти по відношенню до доступної смуги пропускання.

Ми розглядаємо випадок, коли $SIR = 0$ дБ, що означає, що сума потужності сигналу SU дорівнює сумі потужності сигналу PU, при зміні

доплерівського зсуву. Цей сценарій показано на Рисунку 3.4. На Рисунку 3.5 ми показуємо спектри, коли доплерівський зсув SU становить 1% від доступного пропускнуго обсягу PU. Зверніть увагу на невелике частотне зміщення (в порівнянні із спектром SU на Рисунку 3.4).

Це означає, що піднесучі сигналів PU та SU не є ортогональними. Оскільки ці піднесучі не є ортогональними, спектральне розливання призводить до помилок. BER та SER для різних частотних зміщень показані на Рисунку 3.6.

Ми спостерігаємо, що пара BER/SER, отримана за допомогою симуляції методом Монте-Карло, погано узгоджується з теоретичними BER/SER для модуляції QPSK, як це визначено рівняннями (2.5) і (2.6), крім випадку відсутності частотного зміщення. BER та SER погіршуються разом із погіршенням частотного зміщення.

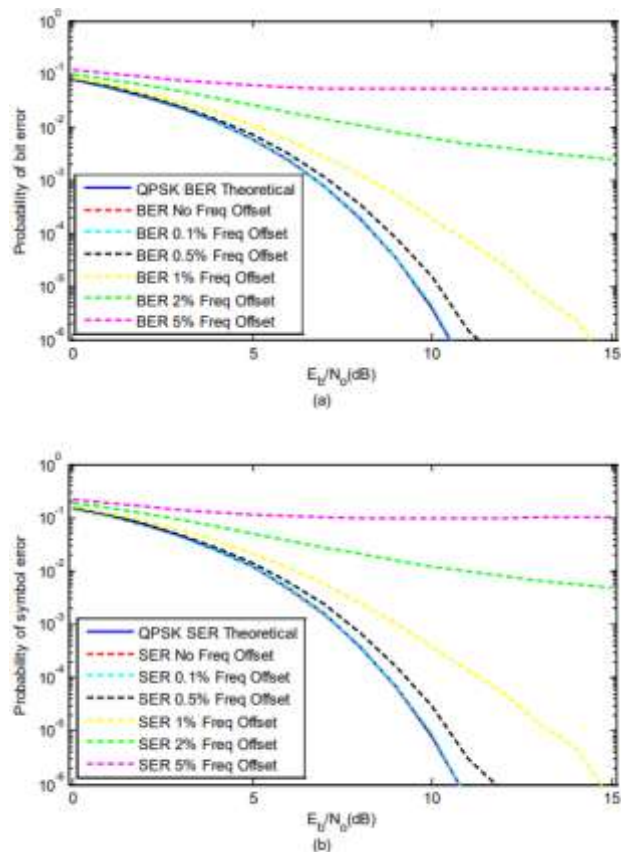


Рис. 3.6. - Ефективність BER ПУ як функція доплерівського зсуву на СУ, де % - це відсоток частотного зсуву.

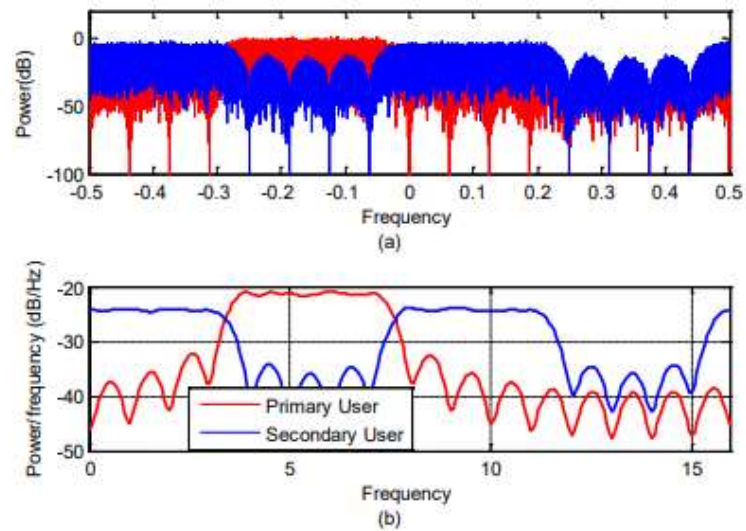


Рис. 3.7. - PSD PU та SU з використанням QPSK-OFDM, де відношення потужності PU до потужності SU дорівнює 0 дБ (SIR), а SU є доплерівським зсувом частоти на 1% по відношенню доступної смуги пропускання первинного пристрою.

Розглядаємо випадок, коли відношення сигнал-інтерференція (SIR) дорівнює 3 дБ, що означає, що сума потужності сигналу PU приблизно вдвічі більша, ніж сума потужності сигналу SU, під час систематичної зміни доплерівського зсуву. Цей сценарій показано на рисунку 3.8. На рисунку 3.9 ми демонструємо спектри, коли доплерівський зсув SU становить 1% від доступного пропускну обсягу PU. Зверніть увагу на невелике зміщення частоти (у порівнянні із спектром SU на рисунку 3.8). Це означає, що піднесучі сигналів PU та SU в комбінованому сигналі не є ортогональними. З огляду на неортогональність цих піднесучих, спектральне витікання призводить до помилок. Графіки BER та SER для різних частотних зміщень представлені на рисунку 3.10. Спостерігається, що пара BER/SER, отримана за допомогою симуляції методом Монте-Карло, не узгоджується з теоретичними значеннями BER/SER для модуляції QPSK, як це передбачено рівняннями (2.2) і (2.4), крім випадку відсутності частотного зміщення. BER та SER погіршуються із збільшенням частотного зміщення.

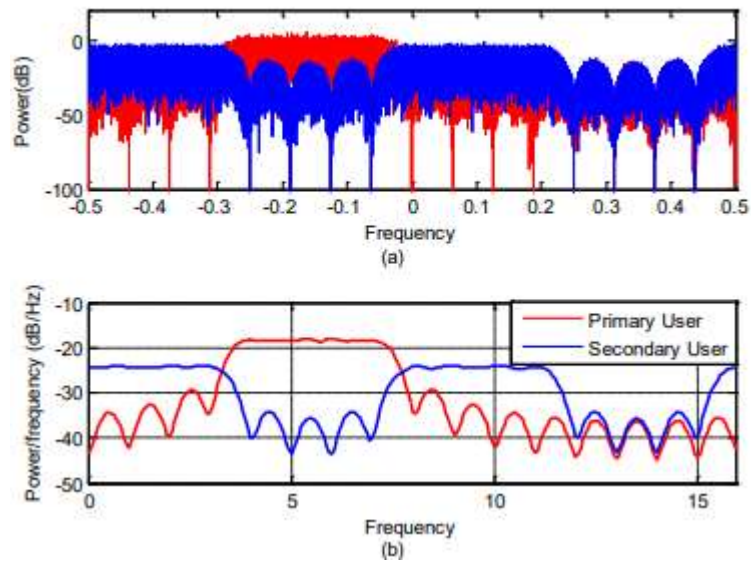


Рис. 3.8. - PSD PU і SU з використанням QPSK-OFDM, де потужність PU до SU становить 3 дБ (SIR).

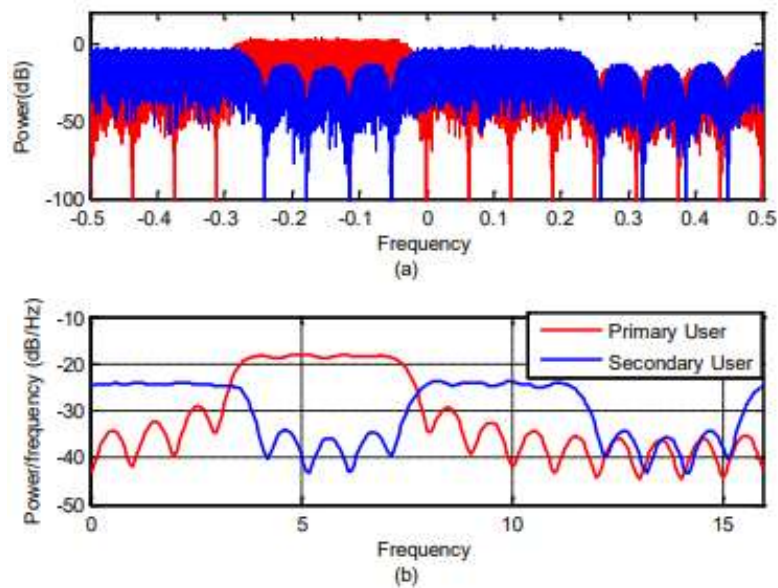


Рис. 3.9. - PSD PU та SU з використанням QPSK-OFDM, де відношення потужності PU до потужності SU становить 3 дБ (SIR), а SU є доплерівським зсувом на 1% частоти по відношенню до Доступна смуга пропускання ПУ.

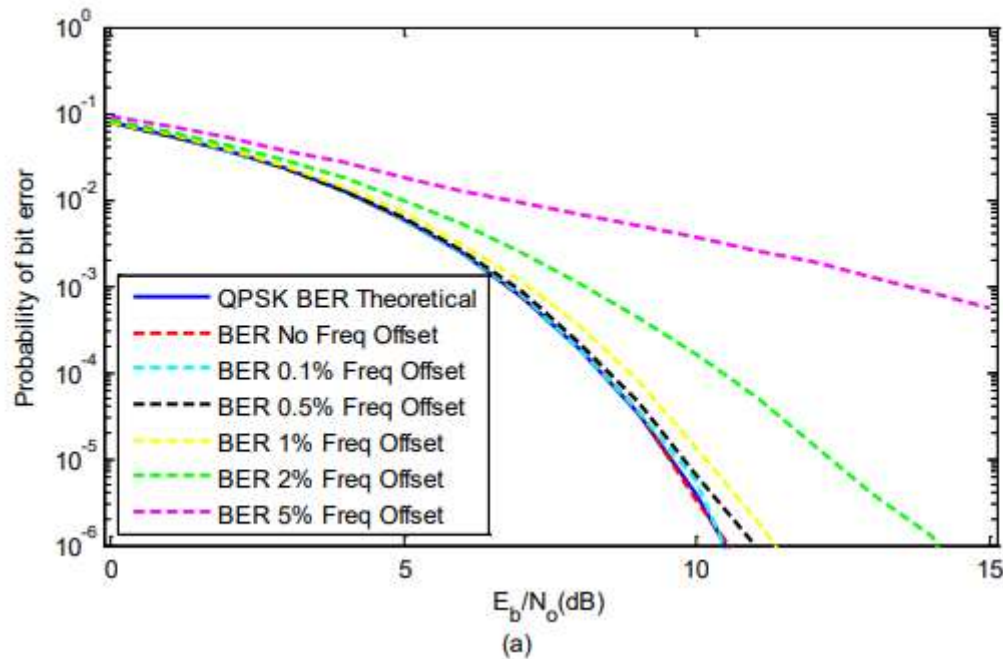


Рис. 3.10. - Показники BER ПУ як функція доплерівського зсуву на СУ, де % - це відсоток частотний зсув у відсотках від доступної смуги пропускання.

Розглядаємо випадок, коли відношення сигнал-інтерференція (SIR) дорівнює 6 дБ, що означає, що сума потужності сигналу PU приблизно в чотири рази більша, ніж сума потужності сигналу SU, під час систематичної зміни доплерівського зсуву. Цей сценарій показано на рисунку 3.11. На рисунку 3.12 ми показуємо спектри, коли доплерівський зсув SU становить 1% від доступного пропускового обсягу PU. Зверніть увагу на невелике зміщення частоти (у порівнянні із спектром SU на рисунку 3.11). Це означає, що піднесучі сигнали PU та SU в комбінованому сигналі не є ортогональними. З огляду на неортогональність цих піднесучих, спектральне витікання призводить до помилок. Графіки BER для різних частотних зміщень представлені на рисунку 3.13. Спостерігається, що пара BER/SER, отримана за допомогою симуляції методом Монте-Карло, не узгоджується з теоретичними значеннями BER/SER для модуляції QPSK, як це передбачено рівняннями (2.2) і (2.4), крім випадку відсутності частотного зміщення. BER та SER погіршуються із збільшенням частотного зміщення.

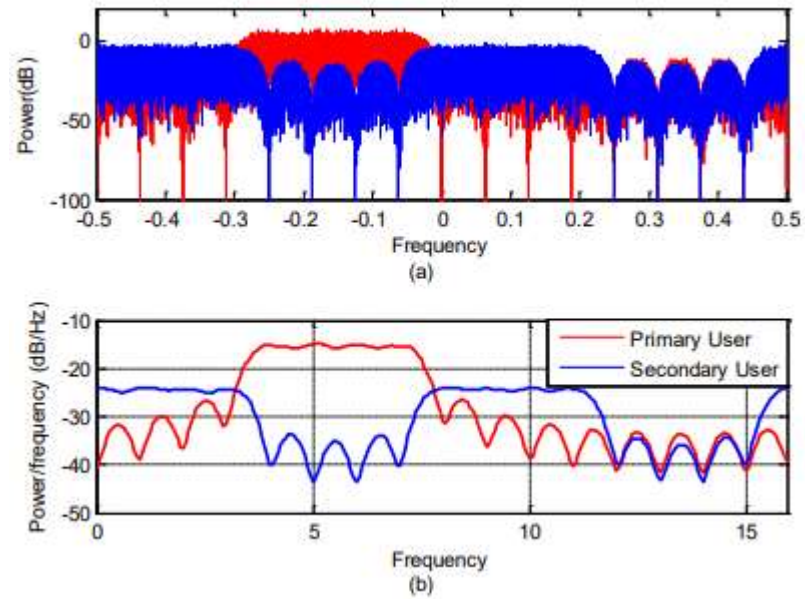


Рис. 3.11. - PSD PU і SU з використанням QPSK-OFDM, де співвідношення потужності PU до потужності SU становить 6 дБ.

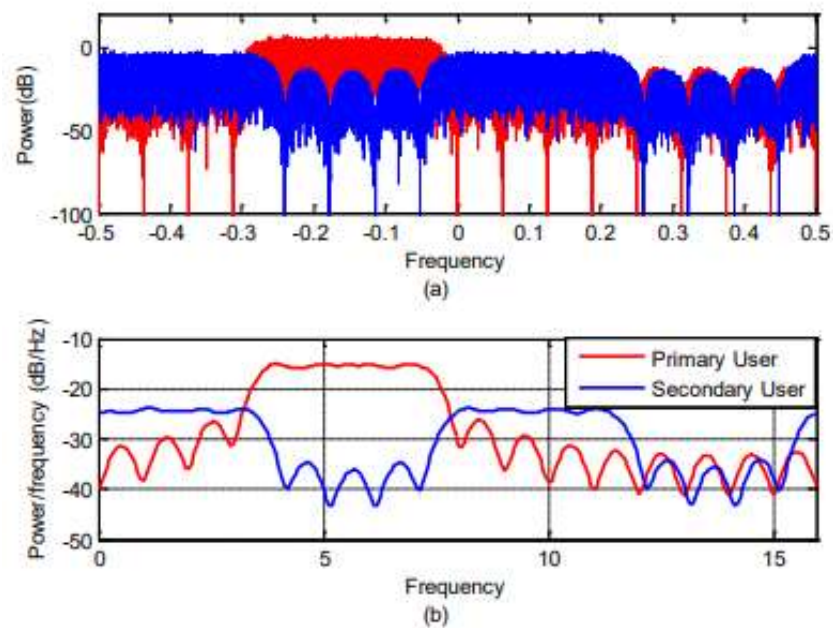


Рис. 3.12. - PSD PU та SU з використанням QPSK-OFDM, де відношення потужності PU до потужності SU становить 6 дБ (SIR), а SU - доплерівський зсув на 1% частоти.

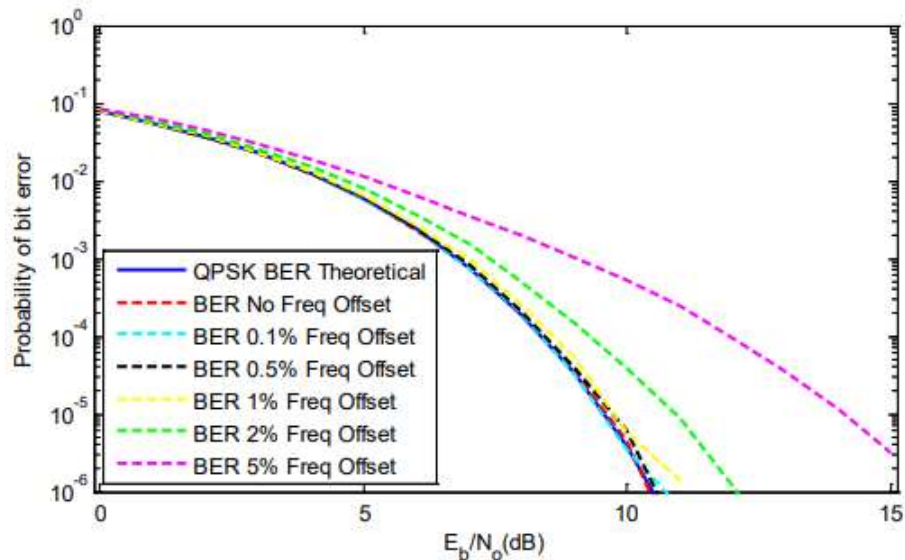


Рис. 3.13. - Показники BER ПУ як функція доплерівського зсуву на СУ, де % частотного зсуву - це відсоток від доступної смуги пропускання ФН.

Розглядаємо випадок, коли відношення сигнал-інтерференція (SIR) дорівнює 10 дБ, що означає, що сума потужності сигналу PU приблизно в 10 разів більша, ніж сума потужності сигналу SU, під час систематичної зміни доплерівського зсуву. Цей сценарій показано на рисунку 3.14.

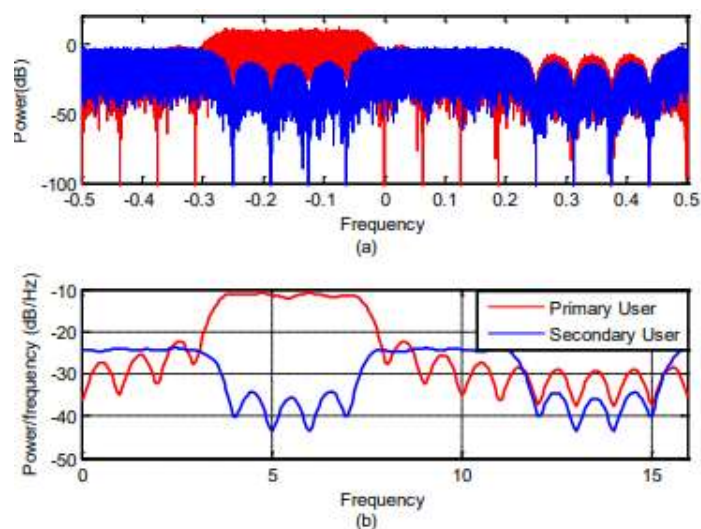


Рис. 3.14. - PSD PU і SU з використанням QPSK-OFDM, де співвідношення потужності PU до потужності SU становить 10 дБ.

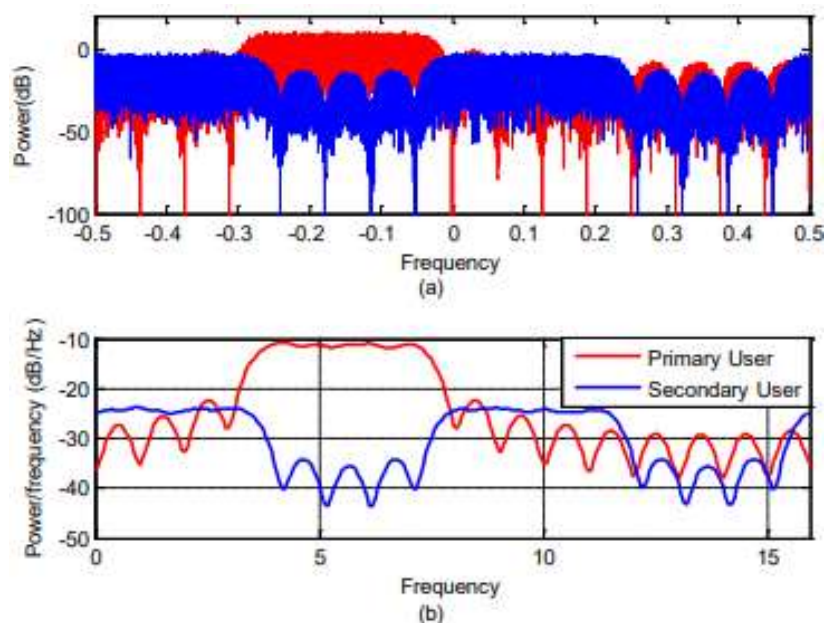


Рис. 3.15. - PSD PU і SU з використанням QPSK-OFDM, де відношення потужності PU до потужності SU становить 10 дБ (SIR), а SU є доплерівським зсувом на 1% частоти.

На рисунку 3.15 ми показуємо спектри, коли доплерівський зсув SU становить 1% від доступного пропускнуго обсягу PU. Зверніть увагу на невелике зміщення частоти (у порівнянні із спектром SU на рисунку 3.14).

Це означає, що піднесучі сигналів PU та SU в комбінованому сигналі не є ортогональними. З огляду на неортогональність цих піднесучих, спектральне витікання призводить до помилок. Графіки BER та SER для різних частотних зміщень представлені на рисунку 3.16. Спостерігається, що пара BER/SER, отримана за допомогою симуляції методом Монте-Карло, не узгоджується з теоретичними значеннями BER/SER для модуляції QPSK, як це передбачено рівняннями (2.5) і (2.7), крім випадку відсутності частотного зміщення. BER та SER погіршуються із збільшенням частотного зміщення.

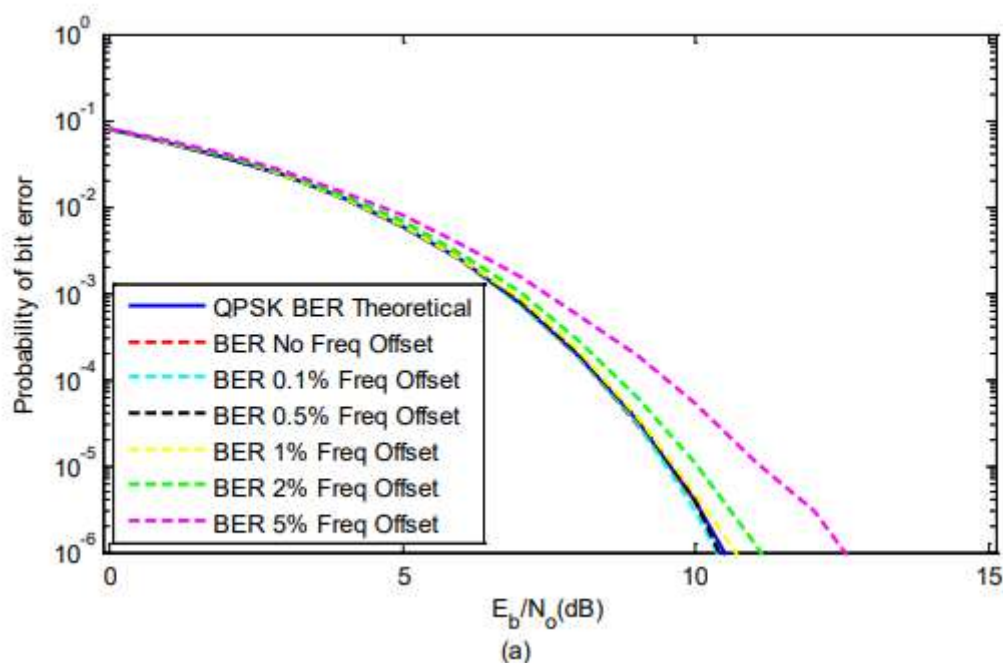


Рис. 3.16. - Показники BER як функція доплерівського зсуву на СУ, де % - це відсоток доплерівського зсуву частоти.

3.4. Висновки до розділу 3

Узагальнення полягають у вивченні впливу доплерівського зсуву частоти на ефективність передачі інформації у двокористувацькій системі когнітивному радіо. Збільшення значень відношення сигнал-інтерференція (SIR) від 0 до 10 дБ призводить до збільшення потужності сигналу первинного користувача (PU) відносно сигналу вторинного користувача (SU). Однак при наявності доплерівського зсуву, що визначається рухом одного, або одразу двох пристроїв, спостерігається зміщення частоти сигналу SU, внаслідок чого піднесучі сигнали PU та SU в комбінованому сигналі стають неортогональними.

Це неортогональне положення піднесучих викликає спектральне витікання, що призводить до помилок в передачі інформації. Графіки BER (відношення бітів, які призводять до помилок) та SER (відношення символів, які призводять до помилок) показують, що із збільшенням частотного зміщення спостерігається погіршення ефективності передачі сигналу. Результати симуляцій методом Монте-Карло не повністю узгоджуються з теоретичними значеннями для модуляції QPSK, вказуючи на необхідність урахування

доплерівського зсуву при дослідженні таких систем, із врахуванням боротьби із шумом. Загалом, ці висновки свідчать про важливість урахування динамічних умов передачі при проектуванні і реалізації систем когнітивного радіо.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Медичний захист населення у надзвичайних ситуаціях.

Серед способів захисту населення у надзвичайних ситуаціях особливе місце займає медичний захист. Виходячи з досвіду, надзвичайні ситуації, як правило, призводять до масової загибелі людей та їх ураження. Для зменшення ступеня ураження необхідно приймати невідкладні заходи щодо надання медичної допомоги потерпілим, відповідно до вимог статті 36 Кодексу цивільного захисту України, Закону України «Про екстрену медичну допомогу».

Наданням цієї допомоги займається медична служба цивільного захисту (ЦЗ), яка організовується на базі Міністерства охорони здоров'я України та його структурних підрозділів і призначена для медичного забезпечення населення, що постраждало внаслідок стихійного лиха, аварій та катастроф. Вона виконує такі основні завдання:

- своєчасне надання потерпілому населенню усіх видів медичної допомоги та лікування потерпілих з метою їх повного одужання;
- попередження виникнення і розповсюдження серед населення масових інфекційних захворювань;
- забезпечення санітарного благополуччя населення та виключення несприятливих санітарних наслідків виробничих аварій та стихійних лих.

Ці завдання вирішуються шляхом проведення комплексу організаційних, лікувально-профілактичних, лікувально-евакуаційних, санітарно-гігієнічних і протиепідемічних заходів. Основними з них є:

- підготовка органів та установ охорони здоров'я до роботи в умовах великих виробничих аварій та стихійних лих;
- організація і підготовка пересувних медичних формувань для проведення рятувальних робіт, а також підготовка медичних установ до лікування потерпілих і хворих;

- організація і проведення лікарняно-евакуаційних, санітарно-гігієнічних та протиепідемічних заходів в осередках ураження і на етапах медичної евакуації;

- навчання медичного персоналу з медичних питань;

- розроблення планів підготовки органів і об'єктів охорони здоров'я до виконання заходів ЦЗ;

- організація забезпечення формувань та установ медичної служби медичним, господарським і спеціальним майном;

- навчання населення вмінню надавати само- та взаємодопомогу при отриманні різних травм.

При виникненні надзвичайних ситуацій, незалежно від їх масштабу, як правило, першими для надання медичної допомоги до осередку катастрофи прибувають і починають працювати, згідно із своїми функціональними обов'язками, бригади швидкої медичної допомоги (ШМД), які обслуговують населення даної території. Вони надають першу лікарську (фельдшерські бригади – долікарську) допомогу постраждалим і евакуюють їх у стаціонарні медичні заклади.

Якщо ліквідувати медико-санітарні наслідки надзвичайної ситуації силами штатних бригад ШМД неможливо, то розгортаються сили першого етапу медичної евакуації. У район надзвичайної ситуації додатково до діючих штатних бригад ШМД направляються медичні бригади постійної готовності першої черги, територіального рівня (а якщо вимагають обставини, то і державного рівня).

При неможливості забезпечення кваліфікованої та спеціалізованої допомоги всім постраждалим діючими лікарняними установами розгортаються лікувальні заклади другого етапу медичної евакуації. Ліжкофонд, що розгортається додатково, забезпечується запасами м'якого інвентарю, медикаментів, продуктів харчування, предметів догляду за хворими, медобладнання тощо. Спеціалізовані бригади постійної готовності другої черги, що прибувають на посилення медичного персоналу забезпечені майном за рахунок закладів до яких вони належать.

Координацію роботи служби на державному рівні здійснює Центральна координаційна комісія МОЗ України, а на територіальному рівні — територіальні координаційні комісії. Вони є постійно діючими дорадчими позаштатними органами, які створюються з метою погодження дій медичних сил різних відомств в умовах надзвичайних ситуацій. До складу комісій входять представники усіх міністерств і відомств, відповідних рівнів Служби.

Головою центральної координаційної комісії є Міністр охорони здоров'я України, а територіальних координаційних комісій — начальники управлінь (відділів) охорони здоров'я відповідних адміністративних територій.

Особливе місце в роботі медичної служби займає захист населення від інфекційних захворювань.

Для запобігання розповсюдження інфекційних захворювань в осередку інфекційної хвороби встановлюється режим карантину або обсервації.

Карантин — адміністративні та медико-санітарні заходи, що застосовуються для запобігання поширенню особливо небезпечних інфекційних захворювань;

Рішення про встановлення карантину, а також про його відміну негайно доводиться до відома населення відповідної території через засоби масової інформації.

У рішенні про встановлення карантину зазначаються:

- обставини, що призвели до цього;
- визначаються межі території карантину;
- затверджуються необхідні профілактичні, протиепідемічні та інші заходи, їх виконавці та терміни проведення;

— встановлюються тимчасові обмеження прав фізичних і юридичних осіб та додаткові обов'язки, що покладаються на них.

Встановлення карантину передбачає:

- повну ізоляцію осередку інфекційної хвороби;
- встановлення охорони на зовнішніх кордонах;
- заборону виходу людей, тварин та вивезення майна;

- дозвіл в'їзду лише спеціальним формуванням призначеним для проведення профілактичних та протиепідемічних заходів;
- заборону транзитного проїзду;
- розподіл населення на дрібні групи і доставку продуктів харчування, води в окремі квартири та будинки;
- припинення роботи всіх підприємств та установ, крім тих, які мають значення для життєзабезпечення населення;
- проведення профілактичних заходів серед населення та лікування хворих;
- проведення санітарної обробки населення, дезінфекції, дезінсекції, дератизації;
- використання засобів індивідуального захисту.

Об'єкти які продовжують роботу в зонах карантину переходять на особливий режим праці:

- робітники та службовці переводяться на казармене положення з виконанням протиепідемічних заходів;
- зміни розподіляються на окремі групи (меншої чисельності), контактування між ними та вихід з приміщень забороняється;
- харчування та відпочинок організовується групами у спеціально відведених приміщеннях.

Карантин встановлюється на період, необхідний для ліквідації епідемії чи спалаху особливо небезпечної інфекційної хвороби. Коли інфекційна хвороба не відноситься до групи особливо небезпечних вводяться обмежувальні протиепідемічні заходи – режим обсервації.

Обмежувальні протиепідемічні заходи встановлюються місцевими органами виконавчої влади та органами місцевого самоврядування за поданням відповідного головного державного санітарного лікаря у разі, коли в окремому населеному пункті, у дитячому виховному, навчальному чи оздоровчому закладі виник спалах інфекційної хвороби або склалася неблагополучна епідемічна ситуація, що загрожує поширенням інфекційних захворювань. Обмеженням підлягають ті види господарської та іншої діяльності, що можуть

сприяти поширенню інфекційних захворювань. Види і тривалість обмежувальних протиепідемічних заходів встановлюються залежно від особливостей перебігу інфекційної хвороби, стану епідемічної ситуації та обставин, що на неї впливають.

4.2. Застосування систем раннього виявлення надзвичайних ситуацій та оповіщення людей в разі їх виникнення на потенційно небезпечних об'єктах.

Автоматизована інформаційна система класу «людина-машина», що реалізує технологію обробки і передавання інформації, у якій спрямовані на оперативне надання користувачам фактичної та прогнозованої інформації, автоматичні процеси отримання та попереднього оброблення даних щодо поточного стану джерел та чинників потенційної небезпеки техногенного та природного характеру суміщено з процесами оповіщення, які здійснюються за безпосередньою участю людини-оператора.

Системами раннього виявлення надзвичайних ситуацій та оповіщення (СРВНСО) обладнуються об'єкти, будівлі і споруди, а також території з ризиком виникнення НС техногенного або природного характеру з метою недопущення виникнення НС або мінімізації наслідків у разі їх виникнення [41]. Обов'язковому обладнанню СРВНСО підлягають об'єкти, будівлі і споруди, а також території на яких при виникненні НС є загроза життю і здоров'ю людей та заподіяння значних збитків. Критерії визначення необхідності улаштування СРВНСО та вибору типу засобів оповіщення і типу системи передавання тривожних сповіщень у залежності від можливої кількості постраждалих осіб та розміру можливих збитків, та з урахуванням ДБН В.1.2-14.

У разі виявлення загрози виникнення НС або виникнення НС, СРВНСО повинна: - автоматично здійснювати інформування, про виявлену загрозу, відповідальних осіб, на яких покладено виконання певних дій щодо недопущення виникнення НС або мінімізації негативних наслідків у разі її виникнення; - за командою оператора СРВНСО, здійснювати оповіщення та передавання до СЦТПС відповідних тривожних сигналів разом із

ідентифікатором формалізованого в електронних картках аварії прогнозованого сценарію розвитку НС, а у разі відсутності реагування диспетчера – автоматично відповідного найгіршого сценарію розвитку НС. 2.Для забезпечення оповіщення працівників об'єкта у разі виникнення НС регіонального або загальнодержавного рівня, СРВНСО повинна бути, із забезпеченням необхідного резервування і дублювання, технічно сполучена з регіональною автоматизованою системою централізованого оповіщення населення. 3 СРВНСО повинні мати можливість видачі відповідних сигналів до систем та устаткування, що не входять до складу СРВНСО, але які пов'язані із забезпеченням безпеки людей на об'єкті при виникненні НС, а саме: - ліфтів, ескалаторів, травіляторів, що повинні працювати в режимі НС; - систем вентиляції та кондиціонування, що вимикаються (вмикаються) у разі виникнення НС; - систем керування устаткуванням, технологічним обладнанням тощо, які мають припинити роботу або змінювати алгоритм роботи у разі виникнення НС; - турнікетів, дверей тощо, оснащених системою контролю доступу, які потребують необхідного розблокування у разі виникнення НС. СРВНСО повинна з необхідною надійністю і оперативністю автоматично виконувати контролювання: - дій оператора СРВНСО щодо оброблення отриманих з СРВНСО сигналів і повідомлень; - працездатності основних складових, каналів зв'язку та стану електроживлення.

Оповіщення про загрозу виникнення НС. 1.На об'єктах, на яких зона ураження у разі виникнення НС не виходить за їх територію, у складі СРВНСО створюються об'єктові системи оповіщення. 2.На об'єктах, на яких зона ураження у разі виникнення НС, досягає заселених територій або інших підприємств, установ, організацій, у складі СРВНСО створюються локальні системи оповіщення. 3.У разі визначення оператором СРВНСО наявності загрози виникнення НС або факту виникнення НС, СРВНСО повинна здійснювати оповіщення: - керівників та інших працівників потенційно небезпечного об'єкту; - оперативних чергових аварійних служб, відповідних територіальних органів центрального органу виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері цивільного захисту, територіальних органів

внутрішніх справ; - керівників та інших відповідальних осіб підприємств, установ, організацій і населення, що знаходиться в межах зони можливого ураження

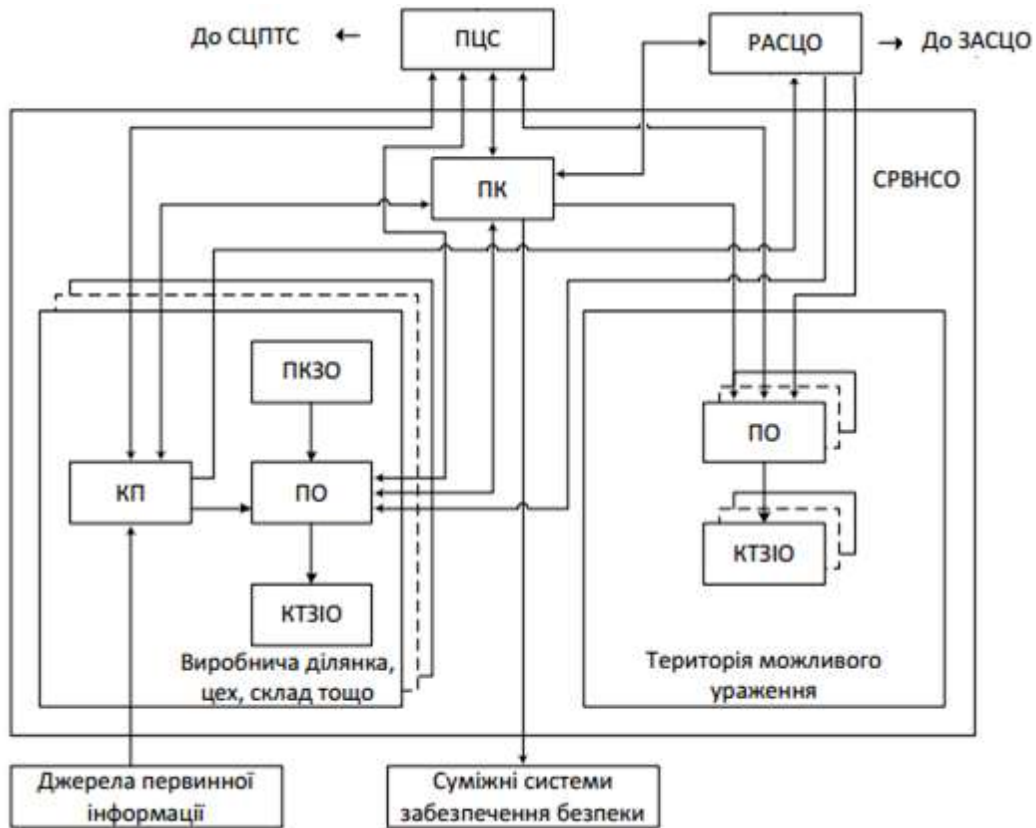


Рис. 4.1. структурна схема СРВНСО.

де:

- СЦПТС – система централізованого пожежного та техногенного спостереження
- ПЦС – пульт централізованого спостереження
- ЗАСЦО – загальнодержавна автоматизована система централізованого оповіщення
- РАСЦО – регіональна автоматизована система централізованого оповіщення
- ПК – пульт керування СРВНСО ПКЗО – пульт керування зональним оповіщенням
- КП – комунікаційних пристрій

- ПО – пристрій оповіщення
- КТЗІО – кінцеві технічні засоби інформування та оповіщення

4.3 Висновки до розділу 4

У підрозділі з охорони праці проаналізовано питання вимог безпеки до лабораторних приміщень та обладнання для наукових досліджень, шкідливих і небезпечних факторів під час роботи з персональним комп'ютером при виконанні дослідження та забезпечення нормальних умов праці на робочому місці.

У розділі, присвяченому медичному захисту населення в надзвичайних ситуаціях, було проведено докладний аналіз важливості та завдань медичної служби цивільного захисту. Зазначено, що ця служба, організована на базі Міністерства охорони здоров'я України, відіграє ключову роль у наданні медичної допомоги та забезпеченні санітарного благополуччя під час стихійних лих, аварій та катастроф.

Висвітлені основні завдання медичної служби, серед яких своєчасне надання різних видів медичної допомоги, попередження масових інфекційних захворювань та забезпечення санітарного благополуччя. Зазначено, що ці завдання досягаються за допомогою комплексу організаційних, лікувально-профілактичних, лікувально-евакуаційних, санітарно-гігієнічних та протиепідемічних заходів.

Для подальшого розвитку теми можна розглянути конкретні приклади успішної реалізації цих заходів у практиці, а також вивчити ефективність медичного захисту під час певних надзвичайних ситуацій. Такий підхід дозволить глибше зрозуміти і підкріпити теоретичний аспект курсової роботи практичними прикладами.

У висновку розділу, присвяченого системам раннього виявлення надзвичайних ситуацій та оповіщення (СРВНСО), виділяється важливість автоматизованих інформаційних систем, які об'єднують технологію обробки та передавання інформації. Вказується на їхню спрямованість на оперативне надання фактичної та прогнозованої інформації, а також на важливість

автоматичних процесів отримання та попереднього оброблення даних щодо поточного стану джерел та чинників потенційної небезпеки.

Докладно розглядається обладнання об'єктів та територій системами раннього виявлення для недопущення виникнення надзвичайних ситуацій або мінімізації їх наслідків. Висвітлено критерії визначення необхідності улаштування СРВНСО, вибору типу засобів оповіщення та систем передавання тривожних сповіщень.

Зазначається, що в разі виявлення загрози або виникнення надзвичайної ситуації СРВНСО автоматично здійснює інформування відповідальних осіб і проводить оповіщення з ідентифікатором формалізованого сценарію розвитку ситуації. Також акцентується на необхідності технічного сполучення СРВНСО з системою централізованого оповіщення населення для забезпечення швидкого та ефективного реагування на різноманітні небезпеки.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Узагальнюючи весь матеріал, та отримані результати матеріалу, можна виділи декілька ключових висновків:

OFDM у системах когнітивного радіо: Ортогональне частотне розташування OFDM дозволяє ефективно використовувати доступний спектр для передачі даних в системах когнітивного радіо. Гнучкість у виділенні піднесучих та керування потужністю піднесучих робить OFDM відмінним вибором для адаптивних радіосистем.

Активне шумопоглинання в OFDM: Застосування методів активного шумопоглинання, зокрема використання вейвлет-аналізу, може покращити якість передачі сигналів в OFDM-системах, особливо в умовах шумів та втрат.

Вплив ефекту Доплера: Доплерівський зсув, викликаний рухом передавача або приймача, може суттєво впливати на ефективність передачі сигналів в системах когнітивного радіо із застосуванням OFDM. При збільшенні доплерівського зсуву неортогональне розташування піднесучих може викликати спектральне витікання та зниження якості зв'язку.

Спроби оптимізації: Дослідження варіантів активного вимкнення піднесучих, зміни потужності на піднесучих, а також врахування динамічних умов зміни фізичного середовища (наприклад, вплив шумів, ефектів Доплера) є актуальними для оптимізації ефективності систем когнітивного радіо.

Важливість емпіричного вивчення: Результати емпіричних досліджень, здійснених за допомогою симуляцій методом Монте-Карло, надають практичні вказівки щодо впливу параметрів систем на ефективність передачі і можуть допомагати в розробці оптимальних рішень для конкретних умов використання.

Загалом, поєднання OFDM із системами активного когнітивного радіо та застосування методів шумопоглинання та управління сигналами становлять перспективну галузь досліджень для покращення спектральної ефективності та якості зв'язку у сучасних бездротових мережах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. “Spectrum policy task force,” Federal Communications Commission, Washington, DC, ET Docket No. 02–135, Tech. Rep., Nov. 2002.
2. C. Y. Wong, R. S. Cheng, K. B. Letaief, and R. D. Murch, “Multiuser OFDM with adaptive subcarrier, bit, and power allocation,” *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 17, no. 10, pp. 1747–1758, Oct. 1999.
3. G.-R. Lee and J.-H. Wen, “The Performance of Subcarrier Allocation Schemes Combined with Error Control Codings in OFDM Systems,” *IEEE Trans. Consumer Electronics.*, vol. 53, no. 3, pp. 852–856, Aug. 2007.
4. Хвостівський М.О., Дунець В.Л., Дедів І.Ю. Методичні рекомендації з оформлення кваліфікаційних робіт магістра за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка. Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2020. 21 с.
5. 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. /Категорія В/ 2019. Вип. 79. С. 78-84.
6. Дозорська , О. Ф., Яворська , Є. Б., Дозорський, В. Г., Дедів , Л. Є. і Дедів , І. Ю. Метод виявлення ознак основного тону в структурі електроміографічних сигналів для задачі компенсації порушеної комунікативної функції людини», Вісник НТУУ "КПІ". Серія Радіотехніка, Радіоапаратобудування, (81), с. 56-64.
7. Ефект Доплера [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/doppler.html> Дата доступу 27.10.2023.
8. Опис ефекту Доплера [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://radiopaedia.org/articles/doppler-shift>. Дата доступу 27.10.2023.
9. Варіанти застосування методу Доплера [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу:

<https://www.physicsclassroom.com/class/waves/Lesson-3/The-Doppler-Effect> Дата доступу 28.10.2023.

10. E. Axell and E. G. Larsson, “Optimal and sub-optimal spectrum sensing of OFDM signals in known and unknown noise variance,” *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 29, pp. 290–304, Feb. 2011.

11. T. T. Ha, “Coherent MPSK,” in *Theory and Design of Digital Communication Systems*. New York: Cambridge University Press, pp. 366–371, 2011.

12. T. T. Ha, “OFDM,” in *Theory and Design of Digital Communication Systems*. New York: Cambridge University Press, pp. 282–290, 2011.

13. P. D. Welch, “The Use of Fast Fourier Transform for the Estimation of Power Spectra: A Method Based on Time Averaging Over Short, Modified Periodograms,” *IEEE Trans. Audio Electroacoust.*, vol. AU-15, pp. 70–73, Jun. 1967.

14. S. Haykin, “Cognitive radio: brain-empowered wireless communications,” *IEEE Journal of Selected Areas of Communication*, vol. 23, no. 2, pp. 201–220, Feb. 2005.

15. Дедів І.Ю. Структурний синтез вібротерапевтичної апаратури / О.В. Гевко, В.Г. Дозорський, Л.Є. Дедів, І.Ю. Дедів, О.Ф. Дозорська // *Перспективні технології та прилади*, № 20, Луцьк, 2022. – с. 23-31.

16. Mathematical and Algorithmic Support of Detection Useful Radiosignals in Telecommunication Networks. L. Khvostivska, M. Khvostivsky, V. Dunets, I. Dediv. *CEUR Workshop Proceedings. 2nd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems, ITTAP 2022 Ternopil 22- 24 November 2022*. Том 3309, с. 314-318.

17. Khvostivska L., Khvostivskyi M., Dunets V., Dediv I. (2023) *Matematychnе, alhorytmichne ta prohramne zabezpechennia synfaznoho vyivlennia radiosyhnaliv v elektronnykh komunikatsiinykh merezhakh iz zavadamy* [Mathematical, algorithmic and software support of synphase detection of radio signals in electronic communication networks with noises]. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol. 111, no 3, pp. 48-57

18. Dozorskyi V., Dediv I., Sverstiuk S., Nykytyuk V., Karnaukhov A. The Method of Commands Identification to Voice Control of the Electric Wheelchair. Proceedings of the 1st International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023). CEUR Workshop Proceedings. Ternopil, Ukraine, June 14-16, 2023. P.233-240. ISSN 1613-0073. CEUR Workshop Proceedings. Ternopil, Ukraine.

19. Дунець В.Л., Цимбала Т.І., Ракуш Р.В. Метод оптимального виявлення сигналів в каналах зв'язку. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 17–18 листоп. 2016) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. Тернопіль : ТНТУ, 2016. С.37-38.

20. Liliya Khvostivska, Iryna Dediv, Mykola Khvostivskyu, Leonid Dediv. Computer Tool for generating of Test Radio Signals for verification of the Radio Computer Systems Software. ADVANCED APPLIED ENERGY and INFORMATION TECHNOLOGIES 2021. Proceedings of the International Conference (Ternopil, 15-17 of December 2021.) / Ministry of Education and Science of Ukraine, Ternopil Ivan Puluj National Technical Universtiy [and other.]. – Ternopil : TNTU, Zhytomyr : «Publishing house “Book-Druk”» LLC, 2021. – P.200-205.

21. Хвостівська Л.В., Дедів І.Ю., Ісаєнко Д.В. Генерування радіосигналів для тестування програмного забезпечення комп'ютерних радіосистем. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей VIII міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 27–28 листоп. 2019.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. Тернопіль : ТНТУ, 2019. С. 108-109

22. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання «БЕЗПЕКА 48 В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ» / В.С. Стручок –Тернопіль: ФОП Паляниця В. А

23. Ahn, Byunghyun “Effect of Doppler shift on adaptive OFDM modulation for cognitive radio application” 2013/ Monterey, California: Naval Postgraduate School

ДОДАТОК А**Копія Тези конференції**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)
Університет імені П'єра і Марії Кюрі (Франція)
Маріборський університет (Словенія)
Технічний університет у Кошице (Словаччина)
Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса (Литва)
Міжнародний університет цивільної авіації (Марокко)
Наукове товариство ім. Т.Шевченка

АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Збірник
тез доповідей

**XII Міжнародної науково-практичної
конференції молодих учених та студентів**
6-7 грудня 2023 року



УКРАЇНА
ТЕРНОПІЛЬ – 2023

**Ministry of Education and Science of Ukraine
Ternopil Ivan Puluj National Technical University (Ukraine)
Pierre and Marie Curie University (The French Republic)
University of Maribor (The Republic of Slovenia)
Technical University of Kosice (The Slovak Republic)
Vilnius Gediminas Technical University (The Republic of Lithuania)
International Academy Mohammed VI of Civil Aviation (Morocco)
T. Shevchenko Scientific Society**

CURRENT ISSUES IN MODERN TECHNOLOGIES

Book
of abstracts

**of the XII International scientific and practical
conference of young researchers and students**
December, 6th-7th, 2023



**UKRAINE
TERNOPIL – 2023**

УДК 621.372.632:621.365.5

П. В. Чикало, В. І. Яськів, докт. техн. наук., доц.

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя)

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ДОПЛЕРІВСЬКОГО МЕТОДУ ПРИ АКТИВНОМУ ШУМОПОДАВЛЕННІ В СИСТЕМАХ РАДІОУПРАВЛІННЯ

P. V. Chykalov, V. I. Yaskiv, Dr., Assoc. Prof.

STUDY OF THE APPLICATION OF THE DOPPLER METHOD IN ACTIVE NOISE SUPPRESSION IN RADIO CONTROL SYSTEMS

У системах радіоуправління використовують радіохвилі для передачі сигналів між джерелом та об'єктом управління. Однак, в умовах руху об'єкта управління, як у випадку з літаками, автомобілями, чи навіть радіокерованими моделями, виникає проблема шуму.

Шум у системах радіоуправління може виникати з різних причин, таких як:

- інтерференція з іншими радіостанціями;
- шум від електромагнітних полів;
- шум від двигунів або інших механізмів об'єкта управління.

Цей шум може призвести до спотворення або втрати сигналу, що може негативно вплинути на точність управління об'єктом.

Метод Доплера може бути використаний для вирішення цієї проблеми. Ефект Доплера - зміна частоти та довжини хвиль, що реєструються приймачем, викликана рухом їхнього джерела та/або рухом приймача. Якщо джерело хвиль рухається відносно середовища, то відстань між гребенями хвиль (довжина хвилі) залежить від швидкості та напрямку руху. Якщо джерело рухається у напрямку до приймача, тобто наздоганяє хвилі, які воно випускає, то довжина хвилі зменшується. Якщо віддаляється - довжина хвилі збільшується.

Рівняння, яке описує ефект Доплера наведено нижче, на рисунку 1 зображено зміну звукових хвиль спричинену рухом об'єкта.

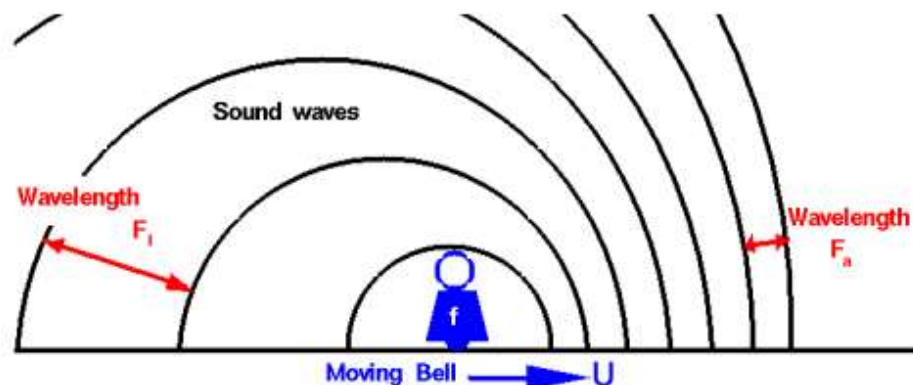


Рисунок 1. Ефект Доплера на прикладі звукових хвиль

Коли джерело, що рухається, наближається до нашого вуха, довжина хвилі стає коротшою, частота - вищою, і ми чуємо вищу висоту звуку. Якщо ми назвемо частоту наближення f_a , швидкість звуку a , швидкість джерела, що наближається, u і частоту звуку біля джерела f , то

Матеріали ХІІ Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів
«АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ» – Тернопіль, 6-7 грудня 2023 року

$$f_a = (f \times a) / (a - u)$$

Коли джерело, що рухається, залишає нас, довжина хвилі стає довшою, частота - нижчою, а крок - меншим. Знову ж таки, якщо частота, що покидає нас, називається f_a , то

$$f_l = (f \times a) / (a + u)$$

Прикладом використання методу Доплера може бути система управління БПЛА. Коли БПЛА рухається, шумові хвилі, які він генерує, також рухаються. Внаслідок цього частота цих хвиль змінюється в результаті доплерівського ефекту. Системи радіоуправління, які використовують метод Доплера, можуть використовувати ці зміни частот для визначення сигналів шумів. Оскільки частоти шумових сигналів не будуть змінюватись так само як корисні сигнали управління, метод Доплера може бути використаний для застосування у системах шумоподавлення у сучасних радіосистемах, в яких присутні рухомі складові.

Метод Доплера має ряд переваг перед іншими методами підвищення ефективності систем радіоуправління:

- висока ефективність - метод може ефективно відфільтрувати шум, який передається по одній і тій же частоті, що і сигнал;
- невисока вартість - не вимагає використання складних або дорогих компонентів.

До недоліків цього методу слід віднести задовільну точність і відносну складність. Він може бути неточним у тих випадках, коли швидкість руху джерела або приймача змінюється швидко, або не змінюється взагалі, тобто він не є ефективним у крайніх станах системи. Як і будь-які модифікації, застосування ефекту Доплера призведе до ускладнення конструкції пристрою та систем.

Метод Доплера є перспективним методом підвищення ефективності систем радіоуправління. Цей метод може використовуватись для вирішення таких завдань, як зниження рівня шуму в умовах руху, сильного шуму або обмеженого спектрального ресурсу.

Література

1. Ефект Доплера [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/doppler.html> . Дата доступу 27.10.2023.
2. Опис ефекту Доплера [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://radiopaedia.org/articles/doppler-shift>. Дата доступу 27.10.2023.
3. Варіанти застосування методу Доплера [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.physicsclassroom.com/class/waves/Lesson-3/The-Doppler-Effect> Дата доступу 28.10.2023.