

ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ ТА МЕРЕЖ

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

магістра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему *«Дослідження MIMO конфігурацій в сучасних
телекомунікаційних системах»*

*«Research of MIMO configurations in modern telecommunication
systems»*

Виконав: студент 6 курсу, групи 6КСМ

напряму підготовки (спеціальності)

123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Малунов Д. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Козел В.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Захарченко Р.М.

(прізвище та ініціали)

Хмельницький – 2024 року

ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут, факультет, відділення інформаційних технологій та дизайну
Кафедра, циклова комісія Комп'ютерних систем та мереж
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Напрямок підготовки _____
(шифр і назва)
Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, голова циклової
комісії комп'ютерних систем та
мереж

_____ Григорова А.А.
«___» _____ 2024 року

З А В Д А Н Н Я НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ Малунов Дмитро Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) «Дослідження МІМО конфігурацій в сучасних
телекомунікаційних системах»

керівник проекту (роботи) Козел В.М., к.т.н., доцент.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від «18» жовтня 2024 року №569-с

2. Строк подання студентом проекту(роботи) 04.12.2024

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Методичні рекомендації до виконання
дипломного проекту. Матеріали практики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Теоретична частина.

Теоретичний аналіз використання технології ПОВЗ у сучасних мережах зв'язку

Опис варіантів реалізації МІМО

Методика порівняльного аналізу

Практична реалізація варіантів тіто

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

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вивчення предметної області	03.09/20.09	
2	Постановка завдання	21.09/01.10	
3	Огляд існуючих рішень	02.10/15.10	
4	Огляд методів збору даних	16.10/25.10	
5	Розробка імітаційної моделі	26.10/05.11	
6	Створення моделі для вибору	06.11/15.11	
7	Оформлення пояснювальної записки	16.11/1.12	
8	Захист роботи		

Студент _____
(підпис) _____
Малунов Д. В.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____
(підпис) _____
Козел В.М.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ.....	5
ВСТУП	6
1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Теоретичний аналіз використання технології ПОВЗ у сучасних мережах зв'язку	9
1.2 Особливості поширення радіохвиль	10
1.3 Багатопроміньове поширення.....	10
1.4 Принцип роботи MIMO	12
1.5 Multi-user MIMO (MU-MIMO)	14
1.6 Застосування MIMO у різних сучасних системах.....	15
1.7 Порівняння мереж WiMAX та LTE	24
2. ОПИС ВАРІАНТІВ РЕАЛІЗАЦІЇ MIMO.....	29
2.1. Одна передавальна, кілька приймальних антен (SIMO).....	29
2.1.1. Вибір найкращої антени (Selection Diversity)	30
2.1.2. Підсумовування по всіх антенах (Equal Gain Combining).....	32
2.1.3. Комбінування за критерієм максимуму відносини сигнал/шум (Maximal Ratio Combining).....	33
2.2. Кілька передавальних, одна приймальна антена (MISO).....	35
3. МЕТОДИКА ПОРІВНЯЛЬНОГО АНАЛІЗУ	43
4. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ВАРІАНТІВ MIMO	54
ВИСНОВОК.....	61
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	63

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ

BER – bit error rate;
EGC – equal gain combining;
FER – frame error rate;
ISI – intersymbol interference;
LLR – log-likelihood ratio;
MISO – multiple in single out;
MIMO – multiple in multiple out;
MMSE – minimum mean square error;
MRC – maximal ratio combining;
QAM – quadrature amplitude modulation.
QPSK – quadro phase shift keying;
RC – raised cosine;
RRC – root raised cosine;
SD – selection diversity;
SIC – successive interference cancelation;
SIC OO – successive interference cancelation with optimal ordering;
SIMO – single in multiple out;
SISO – single in single out;
TB – transmit beamforming;
ZF – zero forcing

ВСТУП

Частотний ресурс є обмеженим, і тому його раціональне використання є актуальним завданням при розробці бездротових систем передачі інформації [2, 3, 11]. Фактично йдеться про збільшення швидкості передачі інформації в заданій смузі частот за умови збереження питомих енергетичних витрат. Для розв'язання зазначеного завдання в сучасних системах передачі інформації, таких як LTE, WiMAX, широко використовується технологія MIMO, яка полягає в передачі інформації через ефір за допомогою кількох передавальних антен і прийманні цієї інформації через кілька приймальних антен [1, 6-10].

В умовах міської забудови істотний вплив на переданий сигнал мають не тільки АБГШ, але й ефект багатопроменевості. Цей ефект виникає внаслідок приходу до приймача декількох променів (прямого, відбитих і навіть заломлених). Це питання є особливо актуальним для бездротових систем передачі даних. У разі використання технології MIMO кількість каналів зв'язку дорівнює добутку кількості передавальних антен на кількість приймальних антен. Зазвичай вважається, що коефіцієнт передачі для кожного променя кожного каналу має рейлейвський розподіл. Варто зазначити, що обрано саме розподіл Релея (а не узагальнений розподіл Релея – розподіл Райса), оскільки в умовах міста промінь прямої видимості майже завжди відсутній.

Використання технології MIMO дозволяє досягти виграшу як в енергетиці, так і у швидкості передачі інформації в порівнянні з технологією SISO [1, 6-10]. Однак труднощі, що виникають під час реалізації технології MIMO, полягають у тому, що замість одного каналу зв'язку (як у випадку SISO) з'являється кілька каналів, які можуть корелювати між собою [1, 6-10].

Ця робота присвячена моделюванню та дослідженню ефективності застосування технології MIMO. За допомогою імітаційного моделювання необхідно побудувати криві завадостійкості приймання сигналів з MIMO і провести порівняльний аналіз отриманих результатів.

Ціль роботи. Розробка та аналіз ефективних методів використання MIMO конфігурацій для підвищення спектральної ефективності та завадостійкості в сучасних бездротових мережах зв'язку.

Для досягнення поставленої мети в кваліфікаційній роботі вирішені наступні задачі:

- 1) Провести теоретичний аналіз існуючих підходів до реалізації MIMO у бездротових мережах.
- 2) Вивчити особливості поширення радіохвиль і вплив багатопроменевості на передачу сигналів.
- 3) Розробити математичні моделі для реалізації різних конфігурацій MIMO (SIMO, MISO, MIMO).
- 4) Виконати імітаційне моделювання роботи системи за різних конфігурацій антен у MATLAB.
- 5) Провести порівняльний аналіз ефективності MIMO у системах LTE та WiMAX.
- 6) Сформулювати рекомендації щодо оптимального використання MIMO у сучасних телекомунікаційних системах.

Кваліфікаційна робота зосереджена на дослідженні MIMO конфігурацій у сучасних телекомунікаційних системах. Наукова новизна роботи полягає в:

- Аналізі та розробці ефективних моделей реалізації різних конфігурацій MIMO, зокрема SIMO, MISO та повноцінних MIMO-систем.
- Проведенні порівняльного аналізу конфігурацій для визначення оптимальних параметрів роботи в умовах багатопроменевості сигналів.
- Оцінці продуктивності технології в різних сучасних системах, таких як WiMAX та LTE, з урахуванням впливу нових стандартів..

Робота сприяє вдосконаленню телекомунікаційних систем через:

- Розробку рекомендацій щодо вибору оптимальних конфігурацій антен для підвищення швидкості передачі та завадостійкості.

- Моделювання приймально-передавальних систем у MATLAB, що може бути використано як навчальний інструмент для студентів і спеціалістів у галузі телекомунікацій.
- Надання результатів для інтеграції ефективних рішень у мережах LTE та WiMAX, спрямованих на покращення якості послуг і зниження витрат.

Публікації. Робота була представлена на конференції Сучасні комп'ютерні системи та мережі в управлінні: матеріали VII Всеукраїнської наук.-практ. Інтернет-конф. здобувачів вищої освіти та молодих вчених (30 листопада 2024 р., м. Хмельницький, м. Херсон) / за ред. А.А. Григорової. – Херсон: Книжкове видавництво ФОП Вишемирський В. С., 2024. З темою Дослідження тімо конфігурацій в сучасних телекомунікаційних системах.

Структура й об'єм роботи

Кваліфікаційна робота складається з вступу, 3 глав, висновку й списку використаних джерел, викладених на 61 сторінках машинописного тексту, що включає 15 таблиць, 9 рисунків і список літературних джерел з 46 найменувань.