

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи
за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр»

на тему:

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БЕЗПРОВІДНИХ МЕРЕЖ
СТАНДАРТУ 802.11
08-34.МКР.001.00.000 ПЗ**

Виконав: студент 2-го курсу,
групи АРЗ-18мі
спеціальності 172 – Телекомунікації та
радіотехніка

_____ Бабич А.В.

Керівник: к.т.н., доцент каф. ТКСТБ

_____ Михалевський Д.В.

« _____ » _____ 2019 р.

Рецензент: к.т.н., доцент каф. БМІ

_____ Тимчик С.В.

« _____ » _____ 2019 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем
Кафедра телекомунікаційних систем та телебачення
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Галузь знань 17– Електроніка та телекомунікації
(шифр і назва)
Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва)
Освітня програма Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ТКСТБ
к.т.н., професор Г.Г. Бортник

“ ___ ” _____ 2019 року

З А В Д А Н Н Я НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Бабичу Артемію Віталійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення ефективності безпроводних мереж стандарту 802.11

керівник роботи Михалевський Дмитро Валерійович, канд. техн. наук, доцент,

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “02” 10 2019 року № 254

2. Строк подання студентом роботи 02 грудня 2019 року

3. Вихідні дані до роботи: Робота базується на результатах експериментальних та теоретичних дослідженнях безпроводної мережі стандарту IEEE 802.11, проведенні відповідних розрахунків та моделювань, та опрацюванні відповідних джерел літератури.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) розробка технічного завдання, аналіз безпроводного стандарту IEEE 802.11ac Wi-Fi, дослідження технології MIMO в стандарті 802.11ac, моделювання технології MIMO для стандарту 802.11ac

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Структурна схема безпроводної мережі, Переорієнтація ДН антеною системи MIMO при просторово-частотному кодуванні, Структура передавальної частини мобільного апарату стандарту IEEE 802.11ac, Формат кадру фізичного рівня IEEE 802.11 при використанні методу передачі DSSS, Варіанти відтворення біт на фазову площину

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Михалевський Д. В. доцент кафедри ТКСТБ		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Березюк О.В. к.т.н., доцент		
Економічна частина	Лесько О.Й. Завідувач кафедри, к.е.н., професор		
Цивільний захист та охорона праці	Томчук М.А. к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання 02 вересня 2019 року**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розробка технічного завдання	06.09.2019р.	
2.	Техніко-економічне обґрунтування розробки	13.09.2019р.	
3.	Аналіз загальних характеристик технологій бездротового доступу	04.10.2019р.	
4.	Дослідження технології МІМО в стандарті 802.11	25.10.2019р.	
5.	Розрахунок параметрів безпроводного каналу стандарту 802.11ac	08.11.2019р.	
6.	Аналіз економічної ефективності розробки	15.11.2019р.	
7.	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	22.11.2019р.	
8.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	29.11.2019р.	
9.	Нормоконтроль МКР	02.12.2019р.	
10.	Попередній захист МКР, рецензування МКР	06.12. 2019р.	
11.	Захист МКР ЕК	09.12. 2019р.	

Студент

(підпис)

Бабич А.В.

Керівник роботи

(підпис)

Михалевський Д.В.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	4
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП	7
1 ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНОЛОГІЙ БЕЗДРОТОВОГО ДОСТУПУ	10
1.1 Аналіз розвитку безпроводних мереж	10
1.2 Стандарти протоколу 802.11	11
1.3 Новітні стандарти протоколу 802.11	14
1.4 Види модуляції в технології Wi-Fi	16
1.5 Фізичний рівень стандарту IEEE 802.11	21
1.6 Дослідження структури передавального пристрою стандарту 802.11 24	
Висновки до розділу 1	26
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ МІМО	28
2.1 Системи МІМО	28
2.2 Ортогональне кодування	30
2.3 Аналіз просторово-часового кодування	33
2.4 Просторова селекція	38
2.5 Апаратна підтримка систем МІМО	40
Висновки до розділу 2	41
3 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ МІМО В СТАНДАРТІ 802.11ac	42
3.1 Дослідження методу формування направленого променя «beamforming»	42

	2
3.1.1 Основи формування променя.	42
3.1.2 802.11ac vs 802.11n.	43
3.1.3 Типи формування променя.	44
3.1.4 Явні матриці формування променя.	45
3.2 Технологія MIMO-OFDMA	47
Висновки до розділу 3.....	51
4 ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК БЕЗПРОВІДНОГО КАНАЛУ З ТЕХНОЛОГІЄЮ MIMO	52
4.1 Організація мережі доступу.....	52
4.2 Розрахунок параметрів безпроводного каналу стандарту 802.11ac ..	53
4.2.1 Розрахунок кількості точок доступу	53
4.2.2 Розрахунок параметрів антени.....	55
4.3 Моделювання системи MIMO	62
Висновки до розділу 4.....	65
5. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	66
5.1 Технологічний аудит результатів проведених досліджень ефективності бездротових мереж 802.11	66
5.2 Розрахунок витрат на проведення досліджень	73
5.3 Оцінювання технічного рівня проведених наукових досліджень ефективності бездротових мереж 802.11	79
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	83
6.1 Виробнича санітарія та гігієна праці	83
6.1.1 Склад повітря робочої зони та мікроклімат	83
6.1.2 Виробниче освітлення	84
6.1.3 Виробничі віброакустичні коливання	86
6.1.4 Виробничі випромінювання.....	86

6.2 Промислова та пожежна безпека при проведенні дослідження	88
6.2.1 Безпека щодо організації робочих місць.....	88
6.2.2 Електробезпека	89
6.2.3 Пожежна безпека	89
6.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях.	90
6.3.1 Дослідження безпеки роботи безпроводної мережі в умовах дії іонізуючих випромінювань	91
Висновки до розділу 6.....	97
ВИСНОВКИ	98
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	101
ДОДАТКИ	106
Додаток А Технічне завдання.....	107
Додаток Б Варіанти відтворення біт на фазову площину	114
Додаток В Формат кадру фізичного рівня IEEE 802.11 при використанні методу передачі DSSS.....	116
Додаток Г Структура передавальної частини мобільного апарату стандарту IEEE 802.11ac	118
Додаток Д Статистика по кількості хот-спотів у світі	120
Додаток Е Переорієнтація ДН антеною системи МІМО при просторово- частотному кодуванні	122
Додаток Є Структурна схема безпроводної мережі	124

РЕФЕРАТ

Бабич А. В. Підвищення ефективності безпроводних мереж стандарту 802.11. Магістерська кваліфікаційна робота, напряму підготовки 172, спеціальності Телекомунікації та радіотехніка /- Вінниця: ВНТУ, 2019. – 125с. На українській мові.

Рисунків 18, таблиць 10

В магістерській кваліфікаційній роботі в спеціальній частині проводиться дослідження методів підвищення ефективності безпроводних мереж стандарту 802.11. Проподиться аналіз основних видів стандарту IEEE 802.11 та проводиться дослідження їх характеристик. Досліджуються основні характеристики ехнології MIMO та її вплив на підвищення ефективності передачі даних в розглянутому стандарті. Проводиться розробка та моделювання мережі Wi-Fi для багатоквартирного будинку з застосуванням технології MIMO.

В шостому розділі були розглянуті питання з охорони праці і безпеки в надзвичайних ситуаціях.

ABSTRACT

In the master's qualifying work in the special part is conducted research of methods of increase of efficiency in the standard 802.11. Propolis analysis of the main types of standard IEEE 802.11 and conducted the study of their characteristics. Explores the main characteristics of the MIMO technology and its impact on improving the efficiency of data transmission in the standard. The development and simulation of the Wi-Fi network for an apartment at home using the MIMO technology is carried out.

The sixth section addressed issues of occupational safety and security in emergencies.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ACK (AC Knowledge) – короткий кадр підтвердження.

AP (Access Point) – точка доступу.

BSS (Basic Service Set) – базова зона обслуговування.

CCK (complementary code keying) – модуляція комплементарним кодом.

CSMA / CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) - множинний доступ з виявленням несучої і запобіганням колізій.

DCF (Distributed Coordination Function) - функції управління розподілені між усіма пристроями мережі.

DS (Distribution System) – розподільча система.

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) - інститут інженерів з електротехніки та електроніки.

ISO (International Organization for Standardization) - Міжнародна організація зі стандартизації.

LLS (Logical Link Control) - підрівень управління логічної ланки.

L-LTF (Legacy Long Training Field) - довга підстроювальна послідовність. L-SIG (Legacy OFDM Signal field) – сигнал.

L-STF (Legacy Short Training Field) - коротка підстроювальна послідовність.

MAC (Media Access Control) - управління доступом до носія.

MCS (Modulation and Coding Scheme) – кодово-модуляційна схема.

MIMO (Multiple Input Multiple Output) - множина входів множина виходів.

MISO (Multiple Input Single Output) - множина входів єдиний вихід.

MU-MIMO (Multi-user MIMO) – багато множинний доступ.

OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) - мультиплексування з ортогональним частотним розділенням каналів.

OSI (Open Systems Interconnection) - модель взаємодії відкритих систем.

PBCH (Physical Broadcast Channel) – фізичний канал передачі мовної інформації.

PCF (Point Coordination Function) – функції управління, зосереджені в одній певній точці доступу.

PCFICH (Physical Control Format Indicator Channel) - фізичний канал передачі формату, який застосовується для каналу PDCCH.

PDCCH (Physical Downlink Control Channel) - фізичний канал керування "вниз".

PHICH (Physical Hybrid ARQ Indicator Channel) – фізичний канал для передачі

HARQ ACK/NACK в відповідь при передачі інформації "вверх".

SISO (Single Input Single Output) – єдиний вхід єдиний вихід. S/N (signal/noise) – сигнал/шум.

SU-MIMO (Single User-MIMO) – одно-користувацький MIMO.

STBC (space-time block codes) - просторово-часові блокові коди.

TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol) - протокол керування передачею / міжмережевий протокол.

QAM (Quadrature Amplitude Modulation) - квадратурно-амплітудна модуляція.

VHT (Very High Throughput) - дуже велика пропускна здатність.

Wi-Fi (Wireless Fidelity) - загальноживана назва для стандарту IEEE 802.11 передачі цифрових потоків даних по радіоканалах.

ZF (Zero Forcing) – нульовий примус.

WLAN (wireless local area network) - безпроводні локальні мережі.

БМПП – безпроводні мережі передачі інформації. 4

ВСТУП

Актуальність теми. Насьогодні, надзвичайно досягнули розвитку в області передачі даних безпроводні мережі – мережі радіозв'язку.

Історія розвитку Wi-Fi розпочинається з середини 1990 рр. Дана технологія передачі інформації була розроблена і застосована вперше в локальних мережах великих корпорацій і компаній Кремнієвої долини в Сполучених Штатах. Зв'язок з мобільним абонентом був організований через «точки доступу», які в свою чергу були підключені до кабельної інфраструктури компанії. При цьому, в радіусі дії кожної такої точки (декілька десятків метрів) могло бути до 20 абонентів, які одночасно використовували ресурси мережі.

Одним з підходів для збільшення швидкості передачі даних для Wi-Fi стандарту 802.11 є використання безпроводних систем з використанням декількох антен як для передавача, так і для приймача. Дана технологія отримала назву «MIMO» (Multiple Input Multiple Output). Вибір даної теми магістерської роботи є актуальним, адже на сьогоднішній день великого розвитку в області передачі даних досягли безпроводні мережі – мережі радіозв'язку. Це можна пояснити зручністю їх використання, дешевизною і прийнятною пропускною здатністю.

Аналіз останніх досліджень. Методи підвищення ефективності мережстандарту 802.11 є об'єктом складних теоретичних та практичних досліджень протягом останніх десятиліть. Виконуючи дослідження в області безпроводних мереж, які були виконані в магістерській кваліфікаційній роботі, теоретичним підґрунтям постали роботи таких вчених: Гітліца М. В., Михалевського Д. В., Городецької О.С., Слюсара В.І., Горбатого І.В. та ін. [1-5]

Мета та постановка задачі. Метою магістерської кваліфікаційної роботи є аналіз та дослідження методів підвищення ефективності мереж в стандарті 802.11.

Задачами магістерської кваліфікаційної роботи є:

- виконати аналіз безпроводного стандарту IEEE 802.11 Wi-Fi;
- виконати дослідження характеристик технології MIMO в стандарті 802.11;
- виконати дослідження методу формування направленої променя «beamforming»;
- виконати дослідження методів підвищення ефективності технології MIMO в стандарті 802.11;
- розробити структурну схему для побудови безпроводної мережі у будинку стандарту 802.11 та відповідно розрахувати основні характеристики;
- виконати моделювання технології MIMO для стандарту 802.11;
- виконати економічне обґрунтування дослідження;
- провести аналіз питань охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Об'єкт дослідження є методи та засоби підвищення ефективності роботи безпроводної мережі в стандарті 802.11 ас.

Предмет дослідження є передача інформації по безпроводному каналу стандарту 802.11 із використанням технологій, що дозволяють підвищити ефективність роботи.

Методи досліджень базуються на використанні: методів формування й оброблення сигналів для підвищення ефективності телекомунікаційних систем та мереж передавання даних; методів модуляції/демодуляції для визначення частотного діапазону сигналу, методів коригуючого кодування/декодування для усунення помилок при передачі інформації, методів ущільнення/розділення каналів для підвищення пропускну здатності каналу при передачі інформації, методів множинного доступу для виявлення та контролю колізій, експериментальних програмних досліджень безпроводних каналів для

дослідження ефективності застосованої системи, методів імітаційного моделювання телекомунікаційних систем та мереж для проведення експерименту на комп'ютері в цілях проектування, аналізу і оцінки функціонування об'єкту, методів математичного аналізу для проектування телекомунікаційної мережі.

Наукова новизна одержаних результатів:

Вперше досліджено структуру безпроводної мережі стандарту 802.11 для багатоквартирного будинку, що дозволяє підвищити ефективність системи.

Практичне значення. У даній роботі проаналізовані технічні можливості нового цифрового стандарту 802.11. Запропонована побудова безпроводної мережі стандарту 802.11ac з використанням технології MIMO у будинку. Проведено розрахунки безпроводного каналу стандарту 802.11, які показали ефективність даної технології та здійснено моделювання системи

Апробація результатів роботи. Основні ідеї роботи доповідались і обговорювались на I Міжнародній науково-технічній конференції "Сучасні проблеми інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем" і на науковій конференції ВНТУ у 2019 році.

1 ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНОЛОГІЙ БЕЗДРОТОВОГО ДОСТУПУ

Вай-фай (від англ. Wireless Fidelity, Wi-Fi, WiFi; — Бездротова точність) — торгова марка Wi-Fi Alliance та загальноживана назва для стандарту IEEE 802.11 передачі цифрових потоків даних по радіоканалах. Поширеним на сьогодні є протокол IEEE 802.11n.

Встановлення Wireless LAN доцільне для побудови мереж, де розгортання кабельної системи є неможливим або економічно затратним. Поточні реалізації Wi-Fi дозволяють отримати швидкість передачі даних понад 100 Мбіт/с, при цьому користувачі можуть переміщуватися між точками доступу на території покриття мережі Wi-Fi, використовуючи мобільні пристрої, оснащені прийнятно-передавальними пристроями Wi-Fi та отримувати доступ в Інтернет.

1.1 Аналіз розвитку безпроводних мереж

Історія розвитку Wi-Fi розпочинається з середини 1990 рр. Дана технологія передачі інформації була розроблена і застосована вперше в локальних мережах великих корпорацій і компаній Кремнієвої долини в Сполучених Штатах. Зв'язок з мобільним абонентом був організований через «точки доступу», які в свою чергу були підключені до кабельної інфраструктури компанії. При цьому, в радіусі дії кожної такої точки (декілька десятків метрів) могло бути до 20 абонентів, які одночасно використовували ресурси мережі.

Спочатку «Wi-Fi», як термін використовувався тільки для позначення технології, що надає зв'язок в діапазоні 2,4 ГГц і що працює за стандартом IEEE 802.11b (швидкість передачі інформації — до 11 Мбіт/с). Проте потім цим терміном все частіше стали називати й інші технології безпроводних локальних мереж. Найбільш значущі серед них визначені стандартами IEEE 802.11a і

802.11g (швидкість передачі — до 54 Мбіт/с, частотні діапазони, відповідно, 5 ГГц і 2,4 ГГц).

Стандарт 802.11b було розроблено в кінці 90-х років і остаточно схвалено на початку 1999-го. У 2000 році почали з'являтися перші пристрої для передачі даних на його основі. Пристрої Wi-Fi були призначені для корпоративних користувачів, щоб замінити традиційні кабельні мережі.

Для дротяної мережі потрібна ретельна розробка топології мережі і прокладка вручну багатьох сотень метрів кабелю, деколи в найнесподіваніших місцях. Для організації ж безпроводної мережі потрібно тільки встановити в одній або декількох точках офісу базові станції (центральний приймач-передавач з антеною, підключений до зовнішньої мережі або сервера) і вставити в кожен комп'ютер мережеву плату з антеною. Після даного людей і комп'ютери можна пересувати як завгодно, і навіть переїзд в новий офіс не зруйнує одного разу створену мережу.

1.2 Стандарти протоколу 802.11

Різні стандарти Wi-Fi припускають використання різних форматів радіосигналу. Модуляція сигналу залежить від використовуваного стандарту - в сучасних стандартах це може бути або DSSS (метод прямої послідовності), або OFDM (ортогональное частотне мультіплексування).

Коротка інформація про різні стандарти Wi-Fi представлена в таблиці 1.

Таблиця 1 - Технічна інформація про різні стандарти 802.11

Протокол 802.11	Дата випуску	Типова пропускна здатність (Мбіт/с)	Максимальна пропускна здатність (Мбіт/с)	Модуляція	R всередині будівлі (м)	R поза будівлею (м)
-	1997	2,4	0,9	IR/FH/DSSS	~20	~100
a	1999	5	23	DSSS	~35	~120
b	1999	2,4	4,3	OFDM	~38	~140
g	2003	2,4	19	OFDM	~38	~140
n	2009	2,4; 5	74	OFDM	~70	~250

802.11. Оригінальна версія стандарту IEEE 802.11, представлена в 1997. На сьогоднішній день стандарт не застосовується. Він описує передачу даних на двох швидкостях: 1 і 2 Мбіт / с, а також використання методу прямого виправлення помилок (FEC). У стандарті описувалося 3 альтернативних технології фізичного рівня: інфрачервону на швидкості в 1 Мбіт / с; технологію з методом Скачкова розширення частоти (FHSS), що працює на швидкості 1 Мбіт / с або 2 Мбіт / с; технологію з методом прямої послідовності (DSSS), що працює на швидкості 1 Мбіт / с або 2 Мбіт / с. Технологія передбачала роботу на частоті 2.4 ГГц, деякі варіанти - на частоті 900 МГц. В даний час пристроїв, що працюють в цьому стандарті, немає. [1]

802.11a. Стандарт IEEE 802.11a передбачає швидкість передачі даних до 54 Мбіт / с. На відміну від базового стандарту специфікаціями 802.11a передбачена робота в новому частотному діапазоні 5ГГц. В якості методу модуляції сигналу вибрано ортогонально частотне мультиплексування (OFDM), що надає високу стійкість зв'язку в умовах багатопроменевого поширення сигналу.

802.11b. Застарілий на даний момент стандарт, найбільш популярний в минулому. Як і в первісному стандарті IEEE 802.11, для передачі в даній версії застосовується діапазон 2 ГГц. Він не зачіпає каналний рівень і вносить зміни в IEEE 802.11 тільки на фізичному рівні. Для передачі сигналу застосовується метод прямої послідовності (DirectSequenceSpreadSpectrum), при якому весь

діапазон ділиться на 5 перекривають один одного поддіапазонов, по кожному з яких передається інформація. Значення кожного біта кодується послідовністю додаткових кодів (ComplementaryCodeKeying). Пропускна здатність каналу при цьому становить 11 Мбіт / сек. Даний стандарт досі підтримується великою кількістю пристроїв з Wi-Fi. [1]

802.11g. Стандарт IEEE 802.11g, прийнятий в 2003 році, є логічним розвитком стандарту 802.11b і передбачає передачу даних в тому ж частотному діапазоні, але з більш високими швидкостями. Крім того, стандарт 802.11g повністю сумісний з 802.11b, тобто будь-який пристрій 802.11g має підтримувати роботу з пристроями 802.11b. Максимальна швидкість передачі даних в стандарті 802.11g становить 54 Мбіт / с. При розробці стандарту 802.11g розглядалися дві конкуруючі технології: метод ортогонального частотного поділу OFDM, запозичений зі стандарту 802.11a і запропонований до розгляду компанією Intersil, і метод двійкового пакетного сверточного кодування PBCC, запропонований компанією TexasInstruments. В результаті стандарт 802.11g містить компромісне рішення: в якості основних застосовуються технології OFDM і CCK, а опціонально передбачено використання технології PBCC. [2]

802.11n. Цей стандарт був утверджен 11 вересня 2009 року 802,11n по швидкості передачі можна порівняти з провідними стандартами. Максимальна швидкість передачі стандарту 802.11n приблизно в 5 разів перевищує продуктивність класичного Wi-Fi.

Стандарти 802.11, 802.11a, 802.11b, 802.11g і 802.11n - це стандарти, що описують протоколи передачі даних по бездротовій мережі. Решта стандарти забезпечують роботу різних механізмів, необхідних для роботи бездротової мережі. У проєктуємої нами мережі будуть використовуватися не тільки стандарти передачі даних (802.11 a / b / g / n), а й додаткові технології.

1.3 Новітні стандарти протоколу 802.11

Розвиток технологій не стоїть на місці. Щодня на ринку консюмерських технологій з'являються пристрої з більш потужними і продуктивними характеристиками, які в свою чергу, для нормального функціонування, потребують відповідних технічних рішень.

Ринок інтернету речей розвивається і збільшується щогодини: відео 360 градусів в 8к, багатосмугові стрімінгові площадки – все це потребує відповідного з'єднання з всесвітньою павутиною. Відповідно, виробники «заліза» повинні забезпечувати «юзерів» ним.

В зв'язку з цим на ринок виходять нові, більш вдосконалені рішення для швидкої і якісної передачі інформації без застосування проводів, а саме нові протоколи стандарту 802.11.

IEEE 802.11ah, опублікований у 2017 р., визначає систему WLAN, яка працює в смугах, що не належать до 1 ГГц, не звільняються від ліцензій. Завдяки сприятливим характеристикам поширення спектрів низьких частот 802.11ah може забезпечити покращений діапазон передачі порівняно зі звичайними мережами 802.11 WLAN, що працюють в діапазонах 2,4 ГГц і 5 ГГц. 802.11ah може використовуватися для різних цілей, включаючи широкомасштабні сенсорні мережі, точки гарячого розширення і зовнішній Wi-Fi для розвантаження стільникового трафіку, тоді як доступна пропускна здатність порівняно вузька. Протокол має намір бути конкурентоспроможним із низькопотужним Bluetooth, але у набагато ширшому діапазоні.

IEEE 802.11ax (позначається як "Wi-Fi 6" від Wi-Fi Alliance) є спадкоємцем 802.11ac і підвищує ефективність мереж WLAN. В даний час розробка даного проекту має на меті забезпечити в 4 рази більшу пропускну здатність 802.11ac на рівні користувача, що має лише 37% вищу номінальну швидкість передачі даних на рівні РНУ. У попередній поправці 802.11 (а саме 802.11ac) було введено

багатокористувацький MIMO, який є методом просторового мультиплексування. MU-MIMO дозволяє Точці доступу формувати промені до кожного Клієнта, одночасно передаючи інформацію. Тим самим зменшується втручання між Клієнтами і збільшується загальна пропускна здатність, оскільки кілька клієнтів можуть одночасно отримувати дані. З 802.11ax подібне мультиплексування вводиться в частотній області, а саме OFDMA. За допомогою цієї методики декілька клієнтів присвоюються різним ресурсним підрозділам у доступному спектрі.

Роблячи це, канал 80 МГц можна розділити на кілька ресурсних одиниць, так що декілька клієнтів отримують дані різного типу в одному і тому ж спектрі одночасно. Щоб мати достатню кількість піднесучих для підтримки вимог OFDMA, кількість піднесучих збільшується в 4 рази (порівняно зі стандартом 802.11ac). Іншими словами, для каналів 20, 40, 80 та 160 МГц в стандарті 802.11ac є 64, 128, 256 та 512 піднесучих; в той час як стандарт 802.11ax є 256, 512, 1024 та 2048 піднесучими. Оскільки наявні смуги пропускання не змінилися і кількість піднесучих збільшується з коефіцієнтом 4, відстань піднесучих також зменшується в 4 рази. Це вводить у 4 рази довші символи OFDM. Наприклад, для 802.11ac і 802.11ax тривалість символу OFDM становить 3,2 мікро секунди і 12,8 мікро секунд (обидва без захисних інтервалів) відповідно.

IEEE 802.11ay - це стандарт, який розробляється. Це поправка, яка визначає новий фізичний рівень для мереж 802.11, які працюють в діапазоні міліметрових хвиль на частоті 60 ГГц. Це буде розширення існуючого 11ad, спрямоване на розширення пропускної здатності, дальності та випадків використання. До основних випадків використання належать: експлуатація в приміщенні, надворі та комунікації на короткій відстані. Пікова швидкість передачі 802.11ay становить 20 Гбіт / с. Основні розширення включають: зв'язування каналів (2, 3 та 4), схеми модуляції MIMO та вищі модуляції.

IEEE 802.11be Надзвичайно Висока Пропускна здатність (EHT) - це потенційна наступна поправка стандарту IEEE 802.11. Він буде ґрунтуватися на

802.11ax, зосереджуючи увагу на роботі бездротових мереж у приміщенні та на вулиці із стаціонарними та рухомими швидкостями в смугах частот 2,4 ГГц, 5 ГГц та 6 ГГц. Будучи потенційним спадкоємцем Wi-Fi 6, Wi-Fi Alliance, швидше за все, сертифікує його як Wi-Fi 7.

1.4 Види модуляції в технології Wi-Fi

Модуляція DSSS застосовується в стандарті IEEE802.11a,b. А OFDM застосовуються в IEEE802.11g,n. В свою чергу, OFDM використовує наступні модуляції як BPSK, QPSK та різновиди QAM, як-от QAM-16 та QAM-64. Стандарти IEEE 802.11a,b визначають передачу сигналу одним з двох методів - прямої послідовності (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS) і частотних стрибків (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS), які відрізняються способом модуляції, але використовують одну і ту ж технологію розширення спектру. Основний принцип такої технології розширення спектру (Spread Spectrum, SS) полягає в тому, щоб від вузькосмугового спектрального сигналу, який виникає при звичайному потенційному кодуванні, перейти до широкосмугового спектру, що дозволяє значно збільшити завадостійкість при передачі даних. Метод FHSS передбачає зміну несучої частоти сигналу при передачі інформації. Для підвищення завадостійкості потрібно збільшити спектр переданого сигналу, для чого несуча частота змінюється по псевдовипадковому закону, і кожен пакет даних передається на своїй несучій частоті.

При використанні FHSS конструкція приймача є дуже простою, але цей метод можна використати тільки якщо пропускна спроможність не перевищує 2 Мбіт/с, так що в доповненні IEEE 802.11b залишився один DSSS. З даного отримуємо, що спільно з пристроями IEEE 802.11b може застосовуватися тільки те обладнання стандарту IEEE 802.11, яке підтримує DSSS, при цьому швидкість

передачі не буде більшою від максимальної швидкості в "вузькому місці" (2 Мбіт/с).

В основі методу DSSS знаходиться принцип фазової маніпуляції (тобто передачі інформації стрибкоподібною зміною першонаочної фази сигналу). Для розширення спектрусигналу використовують перетворення переданої інформації в так званий код Баркера, що є псевдовипадковою послідовністю. Головною особливістю даного методу є стійкість до завад і нечутливість до багатопроменевого розповсюдження. Для бездротових комп'ютерних мереж в діапазоні 2,4 ГГц відведений досить вузький "коридор" шириною 83 МГц, розділений на 14 каналів. Для виключення взаємних перешкод між каналами треба, щоб їх смуги стояли на відстані в 25 МГц один від одного. Нескладний підрахунок показав, що в одній зоні одночасно є можливість використання тільки трьох каналів. У таких умовах майже неможливо рішення проблеми захисту від перешкод автоматичною зміною частоти, через це в бездротових локальних мережах використовують кодування з високою надмірністю.

В ситуаціях, коли і цей метод не дозволяє забезпечити задану достовірність передачі, швидкість з максимального значення 11 Мбіт/с знижується до одного з наступних фіксованих значень: 5,5; 2; 1 Мбіт/с. Зниження швидкості відбувається не тільки при високому рівні перешкод, а і якщо відстань між компонентами бездротової мережі достатньо велика.

Сучасні стандарти використовують технологію OFDM. При формуванні OFDM-сигналу цифровий потік даних розділяється на кілька підпотіків, і кожна піднесуча зв'язується зі своїм підпотіком даних. Амплітуда і фаза обчислюються на основі зворотної схеми модуляції. Відповідно стандарту, окремі піднесучі можуть модулюватися з використанням бінарної фазової маніпуляції (BPSK), квадратурної фазової маніпуляції (QPSK) або квадратурної амплітудної маніпуляції (QAM) порядку 16 або 64.

Варіанти відображення біт на фазову площину для кожного виду маніпуляції представлені на Рисунку 1.3.

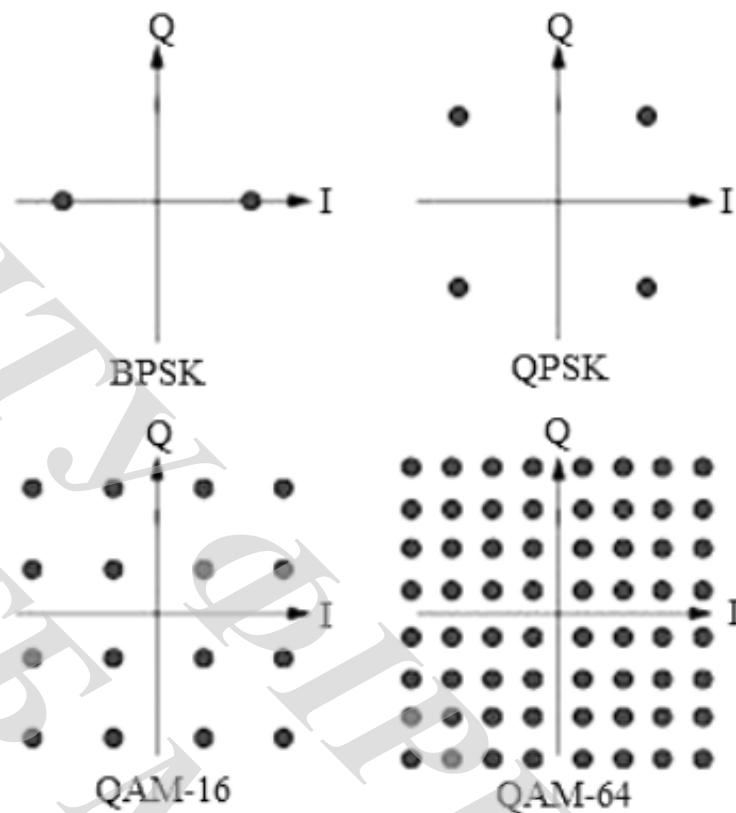


Рисунок 1.1 – Варіанти відтворення біт на фазову площину

У передавачі амплітуда, як функція фази, перетворюється на функцію від часу за допомогою зворотнього швидкого перетворення Фур'є (ЗШПФ). У приймачі за допомогою швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) здійснюється перетворення амплітуди сигналів, як функції від часу, в функцію від частоти. Використання перетворення Фур'є дозволяє розділити частотний діапазон на піднесучі, спектри яких перекриваються, але залишаються ортогональними. Ортогональність пінесущих означає, що кожна з них містить ціле число коливань на період передачі символу. Як видно з Рисунку 1.1, спектральна крива будь-якої з пінесущих має нульове значення для «центральної» частоти суміжної кривої. Дана особливість спектру пінесущих і надає відсутність між ними інтерференції [2]

Одна з найпростіших різновидів цифрової модуляції - двопозиційна або двійкова фазова модуляція (BPSK). Цей вид модуляції застосовується в області телеметрії далекого космосу. Значення фази несучого коливання приймають значення 0 і 180 градусів. В такому випадку для реалізації фазової модуляції будуть потрібні два генератора. Обидва генератора повинні формувати одну і ту ж частоту, але з різною початковою фазою.

При другому способі фазова модуляція розглядається як варіант амплітудної модуляції з активною паузою, де сигнал амплітуди A_c приймає два значення -1 і $+1$. Така зміна значення амплітуди еквівалентна зміні фази на 180° . Так як значення амплітуди сигналу -1 і $+1$ можна розглядати як особливий варіант логічного нуля і одиниці, тому з використанням бінарної фазової модуляції BPSK можна передавати звичайний двійковий сигнал. Символьна швидкість даного виду модуляції складає 1 біт на символ. У чотирьохпозиційній фазової модуляції застосовується чотири значення фази несучого коливання. В такому випадку фаза повинна приймати чотири значення: 0° , 90° , 180° і 270° . Проте частіше застосовуються інші значення фаз: 45° , 135° , 225° і 315° . Зазвичай для формування сигналу QPSK модуляції застосовується квадратурний модулятор. Для реалізації квадратурного модулятора потрібно два помножувача і суматор сигналів. На входи помножувачів можна подавати вхідні бітові потоки безпосередньо в коді NRZ.[11]

Так як при цьому виді модуляції протягом одного символного інтервалу передається одразу два біти вхідного бітового потоку, то символна швидкість даного виду модуляції складає 2 біта на символ. Це означає, що при реалізації модулятора слід розділяти вхідний потік на дві складових - синфазну складову I і квадратурну складову Q . Синхронізацію наступних блоків слід вести з символної швидкістю. Квадратурна амплітудна модуляція - QAM (Quadrature Amplitude Modulation) служить прикладом модуляції з великим числом біт в символах. Отже, можна отримати і більше число станів. Назва 16-QAM означає 16 станів на сигнальному сузір'ї, а 64-QAM означає 64 стану. QAM поєднує в собі амплітудну і фазову модуляції. Вихідні коливання утворюються складанням

модульованих сигналів квадратурних каналів, як і при фазовій маніпуляції, проте обидві несучі тепер модульовані і за амплітудою. Імпульсні сигнали в паралельному потоці однополярні. Логічній 1 відповідає сигнал $\pm A$, а логічному 0 відповідає нульовий рівень. Причому логічна 1 створює на виході модулятора коливання з амплітудою A_m , а логічний 0 не створює коливань. Вихідний сигнал, таким чином, буде промодульований (точніше, маніпульований) і по фазі, і за амплітудою.

Якщо вхідний потік бітів після перетворення з послідовного в паралельний перетворити на багаторівневий імпульсний сигнал, то на виході модулятора будуть виходити фазоманіпульовані багаторівневі за амплітудою коливання. Схема QAM модулятора за принципом дії збігається зі схемою QPSK, різниця лише в тому, що в перетворювачі потоку з послідовного в паралельний проводиться багаторівневе перетворення бітових символів. До теперішнього часу досліджена техніка створення QPSK-модуляторів, що мають 256 і більше станів. Один канальний символ такого сигналу може переносити $n = \log_2 m$ інформаційних бітів. Зокрема, при $m = 16$ маємо $n = 4$. Тому якщо вважати, що тривалість одного біта дорівнює T_b , то тривалість одного канального символу QAM-сигналу дорівнює $T_{ks} = nT_b$.

Отже, при формуванні даного сигналу потік інформаційних бітів повинен групуватися в блоки по n бітів. Кожному блоку повинен бути приведений у відповідність один канальний символ. Встановлення такої відповідності називається сигнальним кодуванням. Ширина спектра QAM-сигналу приблизно така ж, як і m -ного ФМ-сигналу. Однак даний спосіб модуляції може забезпечити меншу ймовірність помилки на біт переданої інформації і тому іноді виявляється більш кращим. Слід відзначити, що, так як амплітуда QAM-сигналу приймає різні значення, то застосування даного способу модуляції супроводжується підвищенням вимог до лінійності каналу передачі. Різні види модуляції дозволяють отримати різні швидкості передачі при різних відносинах сигнал/шум. Використання QAM-модуляції надає більш високу швидкість передачі, але потребує забезпечення більшої величини відношення сигнал/шум.

Тому такий спосіб раціонально застосовувати для користувачів, що знаходяться поблизу базової станції. На віддаленні застосовують QPSK і BPSK, що дозволяють працювати при набагато менших значеннях сигнал/шум. Система автоматично переходить з одного виду модуляції на інший при зміні умов передачі (відношення сигнал/шум - S/N).

1.5 Фізичний рівень стандарту IEEE 802.11

Для сформованих кадрів фізичний рівень мережі виконує наступні функції : CS/CCA (Carrier Sense/Clear Channel Assessment) – функції детектування носійної сигналу в мережі та визначення чи вільний канал для здійснення передачі пакетів. Першочергово дана функція виконує оцінку енергетичних характеристик сигналу на підрівні PMD. Tx, Rx (Transmit, Receive) – функції передачі та прийому пакетів. Ці дві функції вмикаються після виконання команд CS/CCA і надають точці доступу необхідний режим роботи на передачу та на прийом пакетів. Через особливості побудови обладнання Wi-Fi мереж ці два режими не можуть працювати одночасно [12]. Тому, для забезпечення якості передачі, при надходженні переданого кадру на приймач, то на приймальній стороні, в зворотному напрямку, передається кадр підтвердження успішного прийому. Для даного в ньому застосовується параметр ACK, а при наявності завад що приводять до втрат пакетів, існує лічильник очікуваних пакетів, які не дійшли до пункту призначення. На Рисунку 1.4 представлений кадр фізичного рівня при використанні схеми DSSS. Кадр складається з наступних частин – PLPC (попередня комбінація бітів і заголовок) та корисне навантаження. Для передачі PLPC завжди застосовується швидкість 1 Мбіт/с, корисне навантаження (тобто дані MAC) може передаватись на швидкості 1 або 2 Мбіт/с.



Рисунок 1.2 – Формат кадру фізичного рівня IEEE 802.11 при використанні методу передачі DSSS

При розробці стандарту 802.11g розглядалися дві конкуруючі технології: метод ортогонального частотного поділу OFDM і метод двійкового пакетного кодування PBCC, опціонально реалізований в стандарті 802.11b. В результаті стандарт 802.11g містить компромісне рішення: в якості основних застосовуються технології OFDM і CCK, також було передбачено використання технології PBCC. У бездротовій локальній мережі є два типи обладнання: клієнт (комп'ютер, укомплектований бездротовою мережевою картою, але може бути і інший пристрій) і точка доступу, яка відіграє роль моста між безпроводною і проводовою мережами.

Точка доступу складеться з приймача, інтерфейсу провідникової мережі, а також вбудованого мікрокомп'ютера та програмного забезпечення для обробки даних. Набір стандартів 802.11 визначає цілий ряд технологій реалізації фізичного рівня (Physical Layer Protocol, PHY), які можуть бути використані підрівнем 802.11 MAC.

- Рівень PHY стандарту 802.11 зі стрибкоподібною перестройкою частоти (FHSS) в діапазоні 2,4 ГГц.

- Рівень PHY стандарту 802.11 з розширенням спектру методом прямої послідовності (DSSS) в діапазоні 2,4 ГГц.

- Розширений фізичний рівень (Extended Rate Physical Layer, ERP) стандарту 802.11g в діапазоні 2,4 ГГц.

Основне призначення фізичних рівнів стандарту 802.11 - забезпечити механізми бездротової передачі для підрівня MAC, а також підтримувати

виконання вторинних функцій, таких як оцінка стану безпроводного середовища та підрівня MAC.

Рівні MAC і PHY розроблялися таким чином, щоб вони були незалежними. Саме незалежність між MAC і підрівнем PHY і дозволяє йому використовувати додаткові високошвидкісні фізичні рівні, описані в 802.11b, 802.11a і 802.11 g. Кожен з фізичних рівнів стандарту 802.11 має два підрівні - Physical Layer Convergence Procedure (PLCP).

Процедура визначення стану програми фізичного рівня - Physical Medium Dependent (PMD). Підрівень фізичного рівня, що залежить від середовища передачі. Підрівень PLCP по суті є рівнем забезпечення взаємодії, на якому здійснюється переміщення елементів даних протоколу MAC (MAC Protocol Data Units, MPDU) між MAC-станціями з використанням підрівня PMD, на якому реалізується той чи інший метод передачі і прийому даних через бездротове середовище.

Підрівні PLCP і PMD відрізняються для інших варіантів стандарту 802.11. Перед тим як приступити до розгляду фізичних рівнів розглянемо одну зі складових фізичного рівня, досі не згадану, а саме скремблювання.

Одна з особливостей, що лежать в основі сучасних передавачів, завдяки якій дані можна передавати з високою швидкістю, - це припущення про те, що дані, які передаються, надходять випадковим чином. Без даного припущення багато переваг, одержуваних за рахунок застосування інших складових фізичного рівня, залишилися б нереалізованими.

Проте цілком ймовірно і часто відбувається на практиці, що прийняті дані не випадкові і насправді можуть містити повторювані набори та довгі послідовності нулів і одиниць. Скремблювання (перестановка елементів) - це метод, за допомогою якого прийняті дані робляться більш схожими на випадкові; досягається це шляхом підстановки бітів послідовності таким чином, щоб перетворити її з структурованії на випадкову. Дескремблер приймача потім виконує зворотне перетворення цієї випадкової послідовності з метою отримання вихідної структурованої послідовності. Більшість способів

скремблювання відносяться до числа самосинхронізуючихся; це означає, що дескремблер здатний самостійно синхронізуватися зі скремблером.[13]

1.6 Дослідження структури передавального пристрою стандарту 802.11

Нинішній рівень, на який виходить мобільний смартфон, телефон, комунікатор можна прирівняти з персональним ноутбуком, комп'ютером чи іншими потужними електронними пристроями. В такому апараті знайдеться місце і для Wi-Fi модуля. Wi-Fi на сьогодні вже став стандартною функцією для будь-якого мобільного телефону, подібно до функцій SMS, GSM, GPRS, EDGE.

Мобільні апарати мають подібну структуру, за функціональним призначенням, з будь-яким пристроєм рухомого зв'язку. На рисунку 1.4 зображено структуру передавальної частини адаптеру IEEE 802.11ac[23].

Вдповідно структури на рис. 1.4, сигнал проходить на контролер USB від пристрою шиною Universal Serial Bus (USB) і надходить на блок процесора обробки сигналів (ПОС), де виконується цифрова обробка сигналів. Далі сигнал надходить у радіо-комутатор (РК), в якому комутуються частотні канали. РК - пристрій керування, в загальному випадку, виконує функцію керування та слідкує за роботою радіо-комутатора та антенного комутатора (АК). Далі, в блоці попереднього кодера Баркера(ПКБ) відбувається кодування на основі коду Баркера.

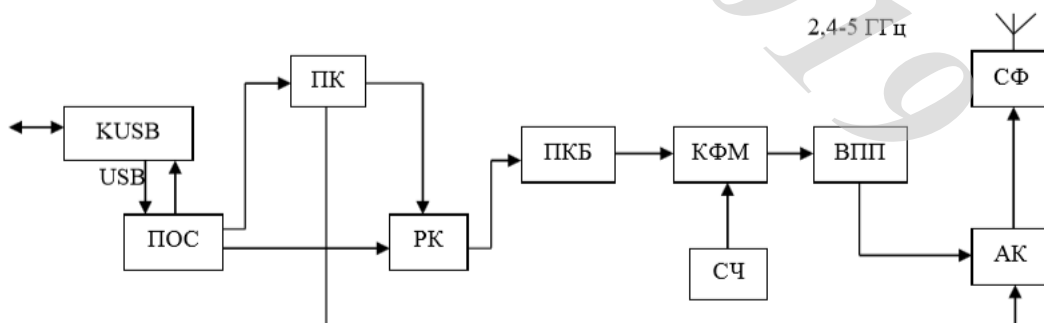


Рисунок 1.3 – Структура передавальної частини мобільного апарату стандарту IEEE 802.11ac

Синтезатор частот (СЧ) є джерелом коливань носійної частоти і створює дуплексний розділ по частоті. У блоці КФМ виконується квадратурна фазова модуляція (КФМ). Завершується перетворення сигналів підсиленням сигналу у блоці вихідного підсилювача потужності (ВПП). Всі сигнали надходять до антенного комутатора (АК), тут вони комутуються і, проходячи через смуговий фільтр, надходять у ефір на частотах 2,4 – 5 ГГц.

Безумовно, як і будь-якому пристрої оснащеним Wi-Fi модулем, необхідною умовою використання Wi-Fi на мобільному телефоні є точка доступу. Якщо говорити про кількість хот-спотів у світі, то цифри надзвичайно відрізняються і залежать часто навіть не від рівня життя тієї чи іншої країни, а від рівня її відвідуваності іноземцями.

За даними i-Pass WiFi Growth Map [24] на сьогодні у світі і, зокрема, у Європі така статистика:



Рисунок 1.4 – Статистика по кількості хот-спотів у світі

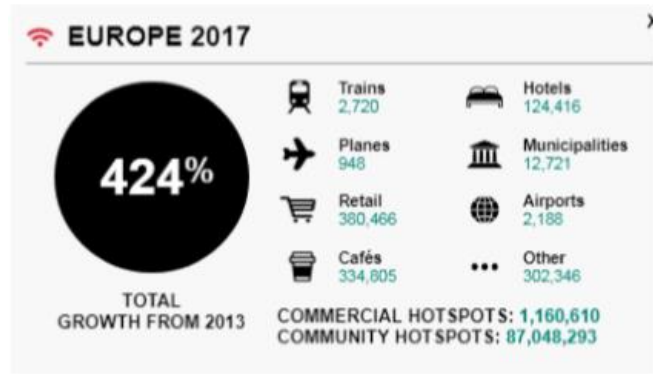


Рисунок 1.5 – Статистика по кількості хот-спотів у Європі

RANK	COUNTRY	HOTSPOTS
1	France	13,018,673
2	United States	9,000,000
3	United Kingdom	5,409,000
4	Japan	2,801,800
5	Belgium	2,002,662

Рисунок 1.6 – Лідери-країни за кількістю хот-спотів в світі

З рисунків 1.4-1.6 видно, що лідером по кількості хот-спотів у світі є країна Франція, де налічується більше 13 млн. точок доступу.

Висновки до розділу 1

В даному розділі було проаналізовано особливості та специфікації стандарту 802.11, а також розглянуто принципи побудови мережі. Стандарт 802.11 Wi-Fi на сьогоднішній день швидкими темпами завойовує нові простори. Технологія стандарту Wi-Fi 802.11ac має значні переваги, які дозволяють використовувати технологію з більшим комфортом у порівнянні із попереднім

стандартом Wi-Fi 802.11n: це високі швидкості передачі в радіоканалі і, відповідно, більша агрегована смуга пропускання точки доступу, а ще більш досконалі механізми контролю активного і пасивного стану клієтських пристроїв.

На сьогоднішній день за даними i-Pass Wi-Fi Growth Map лідером по кількості хот-спотів у світі є країна Франція, де налічується більше 13 млн. точок доступу.

ВЕНТУ
ТЖСІБ ФІРМЕН
МІКР
2019

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ МІМО

2.1 Системи МІМО

Засоби бездротового зв'язку вельми широко застосовуються в офісних і домашніх мережах передачі інформації, в інтерфейсах "ноутбук - настільний комп'ютер" і мультимедійних рішеннях. Все більш актуальною стає подальше підвищення швидкості передачі даних в таких додатках. Великі надії у вирішенні даного завдання пов'язані з використанням так званих МІМО-технологій (Multiple Input - Multiple Output, множинний вхід - множинний вихід). І хоча існуючі втілення МІМО-ідеї поки що не завжди помітно прискорюють трафік на невеликих відстанях від точки доступу, вже доведено, що на великих удаленнях вони досить ефективні. МІМО-принцип дозволяє зменшити число помилок при радіообміні даними (BER) без зниження швидкості передачі в умовах множинних перевідбиттів сигналів. При цьому багатoelementні антенні пристрої забезпечують:

- розширення зони покриття радіосигналами і згладжування в ній мертвих зон;
- використання декількох шляхів поширення сигналу, що підвищує ймовірність роботи по трасах, на яких менше проблем з завмираннями, перевідбиваннями і т.п. ;
- збільшення пропускної здатності ліній зв'язку за рахунок формування фізично різних каналів (розділених просторово, за допомогою ортогональних кодів, частот, поляризаційних мод).

Історія систем МІМО як специфічного об'єкта бездротового зв'язку поки вельми не тривала. Перший патент на використання МІМО-принципу в радіозв'язку був зареєстрований в 1984 році співробітником Bell Laboratories Джеком Вінтерс (Jack Winters) [1]. Базуючись на його дослідженнях, Джек Селз (Jack Salz) з тієї ж Bell Laboratories опублікував в 1985 році першу статтю по

МІМО-рішень. Розвиток даного напрямку тривало фахівцями Bell Laboratories і іншими дослідниками аж до 1995 року. У 1996 році Грег Ралей (Greg Raleigh) і Джеральд Дж. Фошина (Gerald J. Foschini) запропонували новий підхід до реалізації МІМО-системи, що збільшив її ефективність. Згодом Грег Ралей, якому приписують авторство у використанні OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - мультиплексування за допомогою ортогональних несучих) для МІМО, заснував компанію Airgo Networks, що розробила перший МІМО-чіпсет True MIMO. Однак, незважаючи на настільки короткий вік, МІМО-напрямок розвивається досить багатопланово і включає в себе різноманітне сімейство методів, які можна умовно класифікувати відповідно до принципу поділу сигналів в приймальній пристрої. При цьому в МІМО-системах застосовуються як вже зарекомендували себе підходи до поділу сигналів, так і нові. До них відносяться, зокрема, просторово-тимчасове, просторово-частотне, просторово-поляризаційне кодування, а також сверхразрешеніе у напрямку приходу сигналу в приймач. Саме велика кількість підходів до поділу сигналів зумовило таке довге розробку стандартів на використання систем МІМО в засобах зв'язку.

Найпростіша антена МІМО - це система з двох несиметричних вібраторів (монополь), орієнтованих, наприклад, під кутом $\pm 45^\circ$ щодо вертикальної осі (рис.1). Такий кут поляризації надає обидвом каналам рівних умов, оскільки при горизонтально-вертикальній орієнтації випромінювачів, одна з поляризаційних складових однозначно отримала б більше загасання при поширенні уздовж земної поверхні. Сигнали, які випромінюються незалежно кожним монополем, поляризовані взаємно ортогонально з досить високою взаємною розв'язкою по крос-поляризаційній складовій (не менше 20 дБ). Аналогічна антена застосовується і на приймальній стороні. Такий підхід дозволяє одночасно передавати сигнали з однаковими несучими, але при цьому модульовані по-різному. Принцип поляризаційного поділу надає подвоєння пропускної здатності лінії радіозв'язку в порівнянні з випадком одиночного монополя (в ідеальних умовах прямої видимості при ідентичною орієнтації

приймальних і передавальних антен). Таким чином, по суті будь-яку систему з подвійною поляризацією можна вважати системою MIMO.

2.2 Ортогональне кодування

Інший напрямок реалізації принципу MIMO - використання ортогонального кодування (як правило, по фазі) сигналів, незалежно випромінюваних різними антенними елементами. Характерний приклад - застосування MIMO в пристроях стандарту IEEE 802.11. Про це заявили багато виробників обладнання, зокрема, американська компанія Vivato, тайванська фірма D-Link (наприклад, адаптер D-Link DWL-G650M Wireless MIMO Cardbus), компанія Linksys, яка увійшла до складу корпорації Cisco Systems, та ін. А фірма Airgo Networks вже приступила до серійного виробництва чіпсета AGN300 для підтримки MIMO-опції в стандартах IEEE 802.11 a / b / g.

Один з можливих підходів до реалізації ортогонального кодування полягає в розширенні спектра сигналу, що передається методом прямої послідовності (DSSS - Direct Sequence Spread Spectrum). Суть DSSS полягає в заміні кожного біта (або груп бітів) вихідного потоку даних якоїсь псевдослучайної (шумоподобного) кодовою послідовністю. Основна вимога до кодів, що застосовуються при DSSS, - автокорреляція кодової послідовності при зсуві повинна бути мінімальною, в ідеалі дорівнює 0. Тоді при багатопроменевому поширенні (наприклад, через перевідбиттів в умовах міської забудови) сигнал, який потрапив на приймач із затримкою, буде сприйматися коррелятором як шум і не зіпсує основний (прямо поширюється) сигнал. На приймальній стороні вхідний сигнал потрапляє на коррелятор, в якому відбувається когерентне накопичення (в найпростішому випадку це твір вхідного сигналу на еталонну кодову послідовність), в результаті шуми фільтруються, і залишається лише корисний сигнал. Наприклад, в стандарті IEEE 802.11 кожен біт, що дорівнює 1, замінюється 11-позиційним кодом Баркера (10110111000), а рівний 0 - його

інверсією. Один елемент такої кодової послідовності називають чіпом, а саму розширену послідовність - базою сигналу.

При використанні техніки MIMO в обладнанні стандарту IEEE 802.11 антенні випромінювачі передають сигнали або з частотним поділом, або із зсувом за часом один щодо одного, наприклад на один чіп. В останньому випадку бази сигналів в кожному антенном каналі виявляються взаємно ортогональними (або близькими до даного).

Подальшим розвитком принципу DSSS в сімействі стандартів IEEE 802.11 стало використання в протоколі 802.11b методу фазової модуляції за допомогою багатофазної (поліфазний) комплементарної кодової послідовності (метод ССК - Complementary Code Keying). Першим виклав ідею бінарних комплементарних кодів Марсель Голей (M.J.E. Golay), понад півстоліття тому описавши їх принцип і методи генерації [2].

Іншими словами, якщо система зв'язку, яка використовує комплементарне кодування, працює в умовах багатоколіїної поширення сигналів, то в ідеалі міжсимвольні інтерференція, викликана накладенням сигналів із затримками поширення, повинна бути відсутнім, так як сума їх автокореляційних функцій дорівнює нулю.

Оскільки в стандарті IEEE 802.11 прийнята диференціальна квадратурна фазова модуляція (DQPSK), всього може бути чотири значення фази, зрушені один щодо одного на 90° . Суть застосування ССК полягає в тому, що потік трансльованих даних розбивається на групи по 8 біт кожна. Група замінюється сигналом Z з 8 чіпів $C = (c_1, \dots, c_8)$. Кожен чіп - це сигнал, фаза якого визначається кватретом f_1, f_2, f_3, f_4 , так що $C = [c_1, \dots, c_8] = [e^{j(f_1 + f_2 + f_3 + f_4)}, e^{j(f_1 + f_3 + f_4)}, e^{j(f_1 + f_2 + f_4)}, -e^{j(f_1 + f_4)}, e^{j(f_1 + f_2 + f_3)}, e^{j(f_1 + f_3)}, -e^{j(f_1 + f_2)}, e^{j \cdot f} [1]$. (Тут використана запис Ейлера: $e^{jf} = \cos f + j \sin f$. Що стосується квадратури модуляції дійсна і уявна складові відносяться до синфазному і квадратурного каналах, відповідно.)

У групі всі 8 біт розбиваються на пари (дібіт), кожному дібіт ставиться у відповідність певний елемент фазового квартету f_i ($d_0d_1 f_1$, $d_2d_3 f_2$, $d_4d_5 f_3$, $d_6d_7 f_4$). Залежно від значень дібіт, f_i виявляється рівним 0° , 90° , 180° або 270° . Причому f_1 визначається фазою попереднього символу і парністю поточного символу C в потоці, тому модуляція і називається диференціальною. Можна показати, що при будь-яких значеннях дібіт послідовності C виявляються комплементарними. На приймальній стороні, за умови синхронного прийому, декодер відновлює значення f_1 , f_2 , f_3 , f_4 , а по ним - і значення інформаційних біт.

Оскільки ССК-послідовності комплементарні, при застосуванні техніки МІМО можлива їх одночасна трансляція. Наприклад, парні чіпи (або символи) передаються по одному антенного каналу, непарні - по іншому, при цьому вони виявляються практично ортогональними. Розвитком принципу DSSS стала технологія мультиплексування з кодовим поділом каналів CDMA (Code Division Multiple Access). При цьому на одній частоті випромінюються сигнали з різними взаємно ортогональними базами (псевдовипадковими кодовими послідовностями). Причому для коррелятора, налаштованого на певну базову послідовність, всі інші сигнали виглядають як білий шум. Очевидно, що в цьому випадку при використанні технології МІМО кожному антенного каналу ставиться у відповідність певний CDMA-код, і сигнали в них виявляються ортогональними.

Крім кодового поділу каналів, все більшого розвитку отримують системи з поділом на основі ортогональних частот (OFDM). Ідея методу - замість високошвидкісної модуляції однієї несучої застосовувати модуляцію набору піднесучих з набагато меншою швидкістю. Весь діапазон розбивається на кілька ортогональних частот. Вхідний потік даних ділиться на групи (символи), які застосовуються для одночасної модуляції кожної піднесучої. До символів додають захисні інтервали (паузи) як ефективний засіб боротьби з межсимвольною інтерференцією. Щоб метод був ефективний, число тих, що піднесучих має бути досить великим - від десятків до тисяч. Так, в стандарті IEEE

802.11 а і g використовують 52 піднесучі, в стандарті IEEE 802.16 - від 200 до 2048, в специфікації наземного цифрового телевізійного мовлення DVB-T - 6817 піднесуть частот. Кожна з них модулюється за допомогою багаторівневої квадратурної модуляції. Вихідний багаточастотний сигнал синтезують за допомогою зворотного швидкого перетворення Фур'є (ОБПФ).

Очевидно, що системи OFDM за своєю природою пристосовані для застосування технології MIMO, причому різними способами. Техніка MIMO-OFDM передбачена стандартами IEEE 802.16, проектом IEEE 802.11n (рис.2), низкою інших перспективних розробок в області бездротових мереж передачі інформації

2.3 Аналіз просторово-часового кодування

У 1998 році Аламуті (Siavash Alamouti, сьогодні - співробітник компанії Vivato) запропонував новий підхід до поділу MIMO-сигналів на приймальній стороні [4]. Нова схема, названа по імені автора, відноситься до класу ортогонального просторово-часового блокового кодування (OSTBC, orthogonal space-time block codes).⁴

Принцип кодування по Аламуті полягає в тому, що підлягає передачі послідовність символів розбивається на пари (наприклад, суміжні парний і непарний символи) x_i і x_{i+1} . Для передачі такого блоку потрібні два випромінювача і два інтервали передачі. У першому інтервалі передавальна антена 1 буде випромінювати сигнал символу x_i , тоді як антена 2 - сигнал x^{i+1} . У наступному часовому інтервалі антена 1 передає сигнал $-x^*_{i+1}$, а антена 2 сигнал x^*_{i} . Фізична сутність таких маніпуляцій з випромінюваними сигналами стає зрозумілою, якщо скористатися їх математичним представленням:

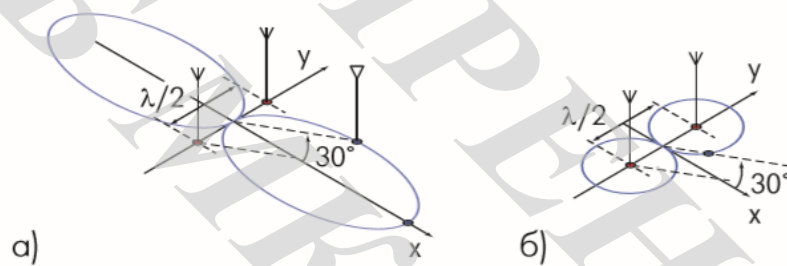
$$x_i = a_i + j b_i,$$

$$x_{i+1} = a_{i+1} + j b_{i+1}, \quad (2.1)$$

$$x^*_i = a_i - j b_i,$$

$$-x^*_{i+1} = -a_{i+1} + j b_{i+1}.$$

Нескладно помітити, що якщо в першому часовому інтервалі сигнали синфазних, у другому вони обов'язково будуть в протифазі, і навпаки. Якщо ж фази сигналів в першому інтервалі ортогональні (різниця 90°), то вони такими залишаться і в другому, з тією лише різницею, що випередження фази випромінювання по черзі виникатиме то на першій, то на другій антенах.



Рисонук 2.1 - Зміна орієнтації максимумів випромінювання системи з двох вібраторів в залежності від різниці фаз, живлять сигналів: а) синфазне живлення випромінювачів, б) протифазне живлення

Коли передає антенна система складається з двох несиметричних вібраторів, результуюча діаграма спрямованості (ДН) істотно залежить від співвідношення фаз вхідних сигналів (рис.2.1). У загальному випадку результуюча ДН відхиляється від нормалі до лінії, що з'єднує вібратори, в сторону елемента, на якому фаза сигналу запізнюється. Таким чином, максимум енергії сигнальної суміші МІМО, кодованої по Аламоуті, випромінюється кожен раз в різних напрямках, причому різних для кожної нової переданої пари

символів в залежності від різниці фаз сигналів. Це підвищує ймовірність їх проходження з урахуванням наявності множинних переотражателів.

Головне обмеження в застосуванні розглянутого методу кодування - допущення про незмінність характеристик каналу не тільки в двох послідовних тимчасових інтервалах, за якими розраховуються передавальні характеристики, але і аж до моменту закінчення прийому корисної інформації. З цієї причини просторово-часове кодування Аламоуті для мобільних абонентів супроводжується падінням ефективності передачі.

Замість випромінювання пари сигналів в двох послідовних тимчасових інтервалах їх можна передавати одночасно на двох ортогональних частотах. Такий метод кодування називається просторово-частотним і дозволяє збільшити пропускну здатність у порівнянні з просторово-тимчасовим методом. Принцип кодування сигналу полягає в тому, що пари символів x_i , x_{i+1} передаються відповідно антенами 1 і 2 на першій частоті, а символи $-x_{i+1}^*$, x_i^* - на другій частоті, при цьому сигнали обох частот випромінюються одночасно.

В даному випадку для кожної частоти випромінюваного сигналу формується своя ДН передавальної антени, орієнтована в залежності від різниці фаз сигналів на затисках харчування антенних елементів (рис.2.2). Це надає незалежну трасу поширення для сигналу кожної частоти випромінювання. Істотно, що в приймачі сигнали ортогональних частот легко розділяються за допомогою цифрової фільтрації. Узагальненням даного методу є модуляція MIMO-OFDM.

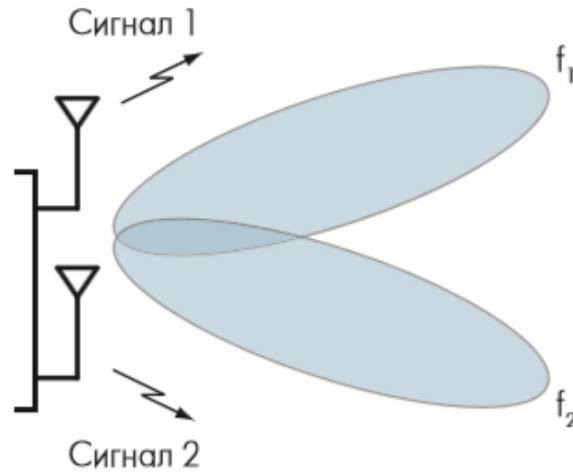


Рисунок 2.2 - Переорієнтація ДН антеною системи МІМО при просторово-частотному кодуванні

Слід зазначити, що під символом, які надходять до, в розглянутому випадку може матися на увазі блок з декількох бітових послідовностей. Стосовно до методу МІМО-OFDM схема кодування Аламоуті дозволяє отримати просторово-частотний код, який для 16-частотного OFDM-пакета ілюструє рис.8. Верхній набір частот на малюнку відповідає першому випромінювачу, нижній - другого. Для передачі кожної з символних послідовностей x_i , x_{i+1} , x_i^* і $-x_{i+1}^*$ застосовується половина ортогональних піднесучих. Метод Аламоуті може бути поширений і на випадок використання ортогональної поляризації випромінювання (рис.2.3).

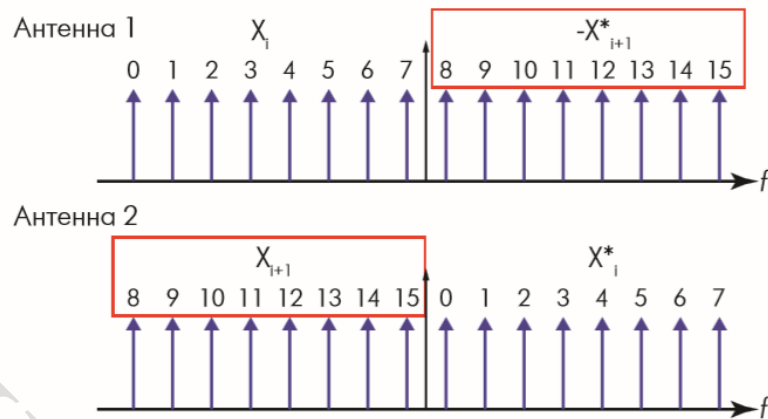


Рисунок 2.3 - Багаточастотний пакет в схемі Аламоуті

Метод Аламоуті може бути поширений і на випадок використання ортогональної поляризації випромінювання (рис.2.4).



Рисунок 2.4 - Реалізація схеми Аламоуті спільно з ортогональною поляризацією випромінювання

У загальному випадку вихідна схема Аламоуті розрахована на наявність $2M$ передавачів і M приймачів, проте при відповідному збільшенні числа інтервалів випромінювання або ортогональних частот для прийому може виявитися досить і однієї антени. Зокрема, для чотирьох передавачів кодування проводиться по так званій розширеній схемою Аламоуті (Extended Alamouti Scheme). [5]

2.4 Просторова селекція

Розділити сигнали МІМО-систем можна і на основі просторової їх селекції, по кутах приходу на приймальну антену. Якщо сигнали наприємнік надходять з різних кутових напрямків, що розрізняються більш ніж на ширину променя ДН прийомної антени, то їх можна розділити звичайної просторовою селекцією. Наприклад, вразі двох сигналів, за допомогою приймальної smart-антени (ЦАР) можна сформувати два незалежних променя ДН і зорієнтувати їх в напрямках максимальної приходить потужності. Для збільшення кутового рознесення трас проходження сигналів можна штучно орієнтувати ДН передаючої антени не в напрямку приймача, а в сторону потужного отражателя (гори, висотної будівлі і т.п.). Якщо ж відмінності в напрямках прийому сигналів не перевищують ширини головного променя результуючої приймальної ДН, а решта їх параметри збігаються, сигнали передавача МІМО можуть бути розділені на основі методів кутового "надрозширення". Пояснимо суть однієї з таких процедур на прикладі двухвібраторної антени. Якщо кутові координати випромінювачів (b_m) щодо нормалі до приймальної антени відомі, завдання поділу сигналів, що випромінюють парою вібраторів, зводиться до вирішення системи рівнянь, складених по одному відліку АЦП:

$$\begin{cases} y_1 = h_1(\beta_1)x_1 + h_1(\beta_2)x_2, \\ y_2 = h_2(\beta_1)x_1 + h_2(\beta_2)x_2, \end{cases} \quad (2.2)$$

де y_1, y_2 - вихідні напруги прийомних антен;

x_1, x_2 - невідомі комплексні амплітуди випромінених сигналів;

$h_1(b_m), h_2(b_m)$ - відомі ДН прийомних антенних елементів в напрямках джерел випромінювання.

Невідомі кутові координати джерел випромінювання \mathbf{b} визначаються на етапі входження в зв'язок при цифровому формуванні ДН, для даного можна застосовувати нелінійні математичні операції - наприклад, процедуру Кейпон (рис.10). В результаті ДН подібних прийомних антен (є віртуальними функціями) будуть вкрай вузьконаправленими і загостреними, що дозволяє підвищити просторову вибірковість антеною системи. Характерно, що передавати сигнали в даному випадку може антена з широкою ДН. Це особливо важливо, оскільки при нелінійній обробці принцип взаємності не виконується і відтворити настільки ж гострі ДН для передавальної антени неможливо.

Слід зазначити, що в режимі МІМО цифрове діаграмообразование зі свехразрешенієм швидко втрачає свою ефективність зі збільшенням відстані передачі. Наприклад, в базовій станції (БС) свехразрешеніє сигналів двох випромінювачів терміналів можна реалізувати на відстанях в сотні метрів, а при більшій кількості незалежних елементів в передавальної антени - і того менше.

Інша річ - прийом сигналів БС самим терміналом. Як правило, в МІМО-системах на БС може бути створений порівняно великий рознос антенних елементів - до 10 довжин хвиль. Це надає кращу декореляції сигнали в режимі передачі на термінал. Потенційно таке рішення дозволяє застосовувати різні методи для поділу МІМО-каналів щодо вхідного і вихідного трафіків.

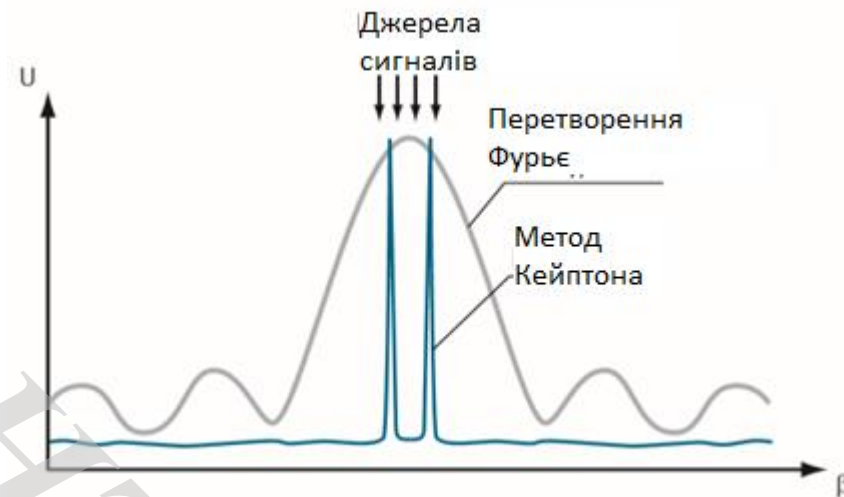


Рисунок 2.5 - Ефект надрелєєвського розширення двох сигналів по методу Кейпона (в порівнянні з класичною обробкою за допомогою перетворення Фур'є)

2.5 Апаратна підтримка систем МІМО

В цілому теорія обробки сигналів в МІМО-системах переживає бурхливий розвиток - етап становлення. Істотно, що прогрес в еволюції МІМО-систем привів до появи спеціалізованих мікросхем для відповідної обробки сигналів, різко здешевлюють виробництво обладнання та створюють передумови для широкого впровадження МІМО-технології в засобах зв'язку. Характерний приклад - уже згаданий чіпсет AGN300 фірми Airgo Networks. До його складу входять однокристальний MAC і baseband-процесор (AGN303BB) і два однокристальних дводіапазонних (2,4 / 5 ГГц) трансивера (AGN301RF і AGN302RF).

Іншим прикладом служить радіочастотний чіп WLANPlus MtW8150 ізраїльської фірми Metalink Broadband (www.MetalinkBB.com). У ньому вперше в світовій практиці на одному кристалі інтегровані два приймачі для частотного діапазону 4,9-5,9 ГГц. При цьому підтримуються МІМО-рішення (2x2), викладені в проекті стандарту 802.11n з пропускною здатністю 40 МГц, а також

сумісність з 20-МГц структурою каналів стандарту 802.11a. Чіп не потребує використання зовнішніх фільтрів ПАР, оскільки має вбудовані засоби частотної селекції. У ньому апаратно реалізовано програмне керування коефіцієнтом посилення малошумливих підсилювачів приймачів і підсилювачів передавачів з контролем вихідної потужності. Передбачена можливість каскадування мікросхем для підтримки MIMO-рішень з великим числом каналів (наприклад, зі структурою 4x4). У чіп вбудована схема компенсації квадратурного розбаланса сигналів кожного передавача і приймача, схема корекції їх характеристик, забезпечена підтримка квадратурної амплітудної модуляції сигналів, аж до 64-QAM. У перспективі планується інтеграція на кристал також і гетеродина. Чіп розміром 11x11 мм виконаний по Si-Ge-технології, напруга живлення - 3В. Як MAC і baseband-процесора застосовується IC WLANPlus MtW8170.

Висновки до розділу 2

Підводячи підсумок, відзначимо, що розглянуті алгоритми обробки MIMO-сигналів дозволяють підвищити якість передачі інформації в складних умовах і тим самим збільшити пропускну здатність лінії зв'язку за рахунок зниження помилок передачі даних. Великі зрушення на ринку обладнання MIMO в стандарті 802.11 очікуються з прийняттям майбутнього протоколу IEEE 802.11n як найбільш просунутого стандарту бездротових мереж передачі інформації с MIMO-системами. Однак невизначеність з втіленням окремих деталей даного стандарту може затягнути його твердження до 2020 року.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ МІМО В СТАНДАРТІ 802.11ac

3.1 Дослідження методу формування направленої променя «beamforming»

Кожен може спробувати кинути камінь у воду, будуть хвилі, що поширюються в сторону. Якщо ви кинете ще один камінь, два види хвиль будуть перекриватися. Якщо ви кидаєте ще більше каменів, ці кругові хвилі будуть розбиті, тому що вони заважають один одному. Це схоже на сьогоднішні бездротові перешкоди: так багато бездротових пристроїв (маршрутизаторів або точок доступу) поширюють сигнал в усій області, і ці сигнали подібні хвилям, що заважає один одному. Чим більше їх, тим більш нестійким буде ваше інтернет-з'єднання, що призведе до проблем. Сучасні бездротові пристрої часто обіцяють технологію «формування променя» - Beamforming, щоб покращити якість Wi-Fi і зменшення перешкод. Але що таке формування променя, як воно працює, і чи дійсно це корисно?

3.1.1 Основи формування променя.

У дуже спрощених поясненнях формування променя пов'язано з фокусуванням сигналу Wi-Fi в певному напрямку. Традиційно, коли ваш маршрутизатор / точка доступу передає сигнал Wi-Fi, він передає дані в усіх напрямках. При формуванні променя маршрутизатор визначає, де знаходиться ваш пристрій - ноутбук, смартфон, планшет або щось ще - і проектує сильніший сигнал в цьому конкретному напрямку. Beamforming обіцяє швидкий, сильніший Wi-Fi-сигнал з великим діапазоном для кожного пристрою. Замість того, щоб просто транслювати по всіх напрямках, маршрутизатор / точка доступу

намагається шіроковещать бездротові дані, призначені для пристрою, що є оптимальним для пристрою. Отже, кінцевий результат формування променя - кращий сигнал Wi-Fi ваших пристроїв.



Рисунок 3.1 - Приклад технології Beamforming в роботі

3.1.2 802.11ac vs 802.11n.

Beamforming, свого роду був частиною специфікації 802.11n. Але для даного потрібно, щоб обидва пристрої - точка доступу (маршрутизатор) і клієнт - підтримували однакове формування променя. Не було стандартного способу, і виробники пристроїв виробляли свої власні реалізації. В результаті технологія ніколи не використовувалася, тому що не було ніякої гарантії, що будь-які пристрої 802.11n були б сумісні один з одним, навіть якщо у обох був би Beamforming. Завдяки специфікації 802.11ac це було виправлено. Існує стандартний спосіб формування діаграми спрямованості, і будь-які пристрої 802.11ac, які підтримують формування діаграми спрямованості, працюватимуть з іншими, які також це роблять. По суті, пристрої 802.11ac, такі як ваш маршрутизатор і ноутбук, можуть взаємодіяти один з одним і надавати інформацію про їх відносних позиціях.

3.1.3 Типи формування променя.

Існує два типи Beamforming: неявний (implicit) і явний (explicit). Explicit Beamforming - це коли і маршрутизатор, і клієнт підтримують Beamforming. Будь-який пристрій 802.11ac wifi, що підтримує Beamforming, матиме один і той же стандарт, тому, якщо у вас є два пристрої 802.11ac Beamforming, гарантується, що вони будуть добре працювати разом. Наявність двох пристроїв, що працюють разом, дасть вам найсильніше можливе з'єднання, і тому явний Beamforming набагато ефективніше, ніж неявний. Слід зазначити, що підтримка 802.11ac не означає, що пристрій підтримує Beamforming. Явна формування променя залежить від зворотного зв'язку з клієнтом. Це дозволяє точці доступу задавати свої параметри формування променя з більшою точністю, що, в свою чергу, дозволяє використовувати більш спрямований промінь. Замість того, щоб звукові кадри передавалися від клієнта до пункту доступу, вони відправляються з точки доступу клієнту. Клієнт записує, як він отримав звукові кадри і буде матрицю (описану нижче). Потім дана матриця передається назад в точку доступу. Завдяки їй точка доступу може точно розрахувати, як передавати дані. З іншого боку, Implicit Beamforming дозволяє більш старим пристроїв без технології 802.11ac отримувати деякі переваги, принесені Beamforming. Якщо ваша точка доступу має технологію Beamforming, але клієнт немає, з'єднання всерівно буде трохи покращено. При використанні неявного формування променя точка доступу передбачає, що настройки, які дозволяють їй найкраще чути клієнта, також є настройками, які дозволяють клієнту найкраще чути точку. Це припущення зазвичай корисно, але не завжди повністю точно. Налаштування для неявного формування променя дуже проста. Точка доступу просить клієнта відправити передбачуваний набір звукових кадрів. Потім вона прослуховує ці звукові кадри, відзначаючи, коли і як вони приймаються на кожній зі своїх антен. Це дозволяє точці доступу задуматися про шаблон, який вона повинна використовувати для передачі.

3.1.4 Явні матриці формування променя.

Щоб встановити явний зв'язок з променем, точка доступу відправить клієнту ряд звукових кадрів, іноді званих Null Data Packets (NDP). Точка доступу передає їх від кожної зі своїх антен по одному за певний час. Тема NDP визначає, з якою антени він був відправлений. Явна пристрій, що відповідає стандарту 802.11ac, сумісний з формуванням діаграми спрямованості, зможе записувати інформацію про те, як він отримує звуковий кадр на кожній зі своїх антен індивідуально. Це дає нам відношення M до N по числу антен в точці доступу і кількості антен на клієнті. Клієнт реєструє дві частини даних для кожного відношення MN . Перша - це сила сигналу, виміряна його амплітудою (позначається нижче A). Другий - це час, коли він отримав сигнал. Відмінності в ці часи реєструються в матриці (позначеної нижче T). Зверніть увагу, що один кадр, відправлений з точки доступу, буде прийматися на кожній антені клієнта з дещо іншою амплітудою і в дещо інше час. В результаті виходить матриця MN з парою записів в кожному елементі. Цей процес повторюється для кожного каналу, який буде використовуватися, оскільки різні частоти можуть поширюватися трохи інакше в реальних сценаріях. Тепер це утворює тривимірну матрицю MNC , де C - кількість каналів, які ми хочемо відобразити. Матриця зображена нижче.

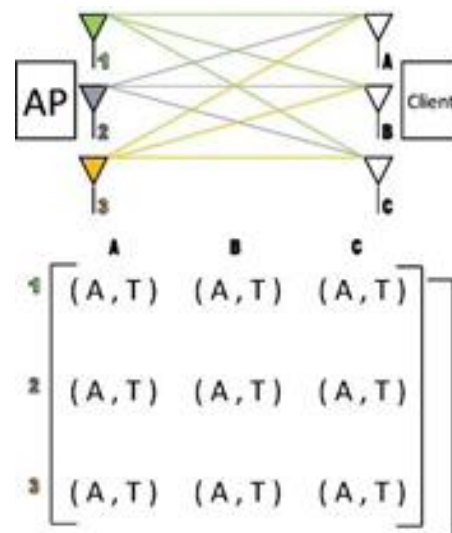


Рисунок 3.2 - Тривимірну матриця MNC

Дана матриця відома як інформація про стан каналу Channel State Information (CSI). CSI стискається і повертається в точку доступу. Для калібрування явного формування променя точка доступу повинна виконувати інверсію матриці в CSI. Як тільки це буде зроблено, точка доступу буде застосовувати параметри від інвертованою матриці до антеною решітці. В результаті антени, які були почуті в останній раз, транслюються раніше, ніж ті, які були почуті першими. Ми можемо компенсувати невеликі амплітудні розбіжності аналогічним чином. Розмір стиснутого CSI може сильно варіюватися в залежності від кількості антен і кількості цікавлять нас каналів. Великий CSI може бути більше 20 КБ.

В цілому, Beamforming - відмінний спосіб поліпшити швидкість вашої бездротової мережі Wi-Fi. Якщо будь-яка з ваших поточних пристроїв вже підтримує Beamforming, можливо, варто перейти на маршрутизатор з підтримкою Beamforming. Beamforming долає зовнішні і внутрішні (CCI) перешкоди, використовуючи просторові властивості антен. Оскільки перешкода виходить з певного напрямку, формувач променя може застосовувати метод обнулення - відправити «нуль» в бік джерела перешкоди, скасувавши його. У зв'язку з значним скороченням CCI формування променя може дозволити більш

щільне розгортання, ніж системи з одиночної антеною. А завдяки високому бюджету посилення ймовірність запуску модуляції вищого порядку (64QAM, 16QAM) набагато вище. Загальна потужність значно поліпшена. Beamforming є більш складним, ніж інші технології антени, але є дуже корисним. Антена є єдиним найслабшою ланкою в мережі, і формування променя вирішує цю проблему. Провайдери повинні звернути увагу на створення систем, які використовують цю передову технологію, через величезні переваги, які вона пропонує, - кращого діапазону, потужності, ефективності та, в кінцевому рахунку, меншої кількості витрат.

3.2 Технологія MIMO-OFDMA

Використання технологій ортогонального частотного (OFDM) і просторового (MIMO) розподілу в сучасних безпроводних системах зв'язку широкопasmового доступу дозволяє досягти збільшення інформаційної ефективності в умовах багатопроменевого поширення сигналу і, в результаті, підвищити надійність систем.

Технологія OFDM є поєднанням модуляції і мультиплексування і здатна підвищувати стійкість каналу зв'язку проти частотно-виборчих затухань, викликаних широкопasmовим поширенням сигналів. Сигнал OFDM представляє собою безліч ортогональних підносійних, які складають один основний сигнал, при цьому кожна підносійна модулюється своїм двійковим потоком. При проходженні каналу зв'язку, окремі підносійні OFDM сигналу можуть бути змінені, що призведе до втрати інформаційних бітів, що входять до складу переданого пакета, однак застосування технології надійного кодування на передавачі дозволяє їх відновити на приймальній стороні [3-5].

Зазвичай, система з широкопasmовим поширенням викликає затухання сигналу в каналі, яке розглядається як шкідливий чинник, що відноситься до

безпроводного зв'язку [9]. Проте, дослідження показують, що в системі МІМО, при наявності ширококутності може бути сприятливим явищем для безпроводного зв'язку. У передавачі послідовний потік символів даних після необхідної просторово-часової обробки спрямовується на елементи передавальної АР, а потім надсилаються на приймач. У приймачі прийняті символи витягають за допомогою різних просторово-тимчасових технологій виявлення. Для того щоб гарантувати ефективне розділення окремих потоків даних, елементи АР повинні бути рознесені на достатній відстані (зазвичай більше половини довжини хвилі носійної) для того, щоб запобігти дуже високій кореляції між прийнятими сигналами на різних антенах [11]. Рисунок 3.10 ілюструє систему МІМО.

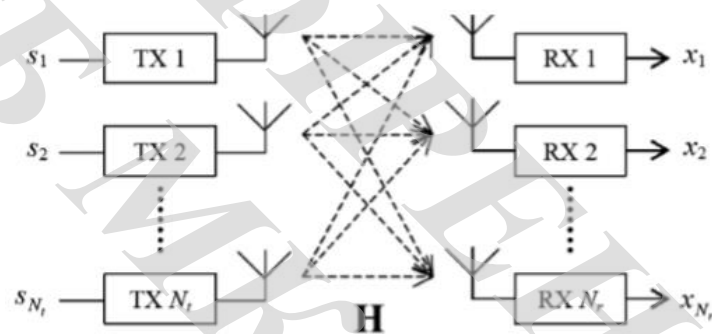


Рисунок 3.3 – Схематичне представлення системи МІМО

Як показано на рис. 3.3 [10], сигнали передаються від антен, а після розповсюджуються по безпроводному каналу в умовах міської забудови, і приймаються в приймальних антенах. Кожна приймальна антена отримує суперпозицію сигналів від передавальної антени. OFDM є модуляцією з безліччю підносійних. В OFDM канал розділяється на безліч ортогональних підканалів і високошвидкісні сигнали передачі даних перетворюються в паралельні низькошвидкісні підпотоки [12-14, 18]. Ці підпотоки модулюються в кожному підканалі, щоб бути переданими

OFDM є ефективним способом в боротьбі проти частотно-селективних завмирань і міжсимвольної інтерференції (ISI) [8]. Використовуючи в якості підканалів ортогональні підносійні можна значно поліпшити спектральну ефективність. Як правило, в OFDM додається захисний інтервал певної довжини (GI), що дозволяє боротися з міжсимвольною інтерференцією, в разі, коли тривалість GI більше максимального розкиду затримок багатокільного радіоканалу. Зачасту, захисний інтервал заповнений циклічним префіксом (CP) [9, 15]. Основна перевага технології OFDM полягає в тому, що швидке Перетворення Фур'є (ШПФ)/Зворотньошвидке перетворення Фур'є (ЗШПФ) може бути використано для здійснення модуляції і демодуляції ортогональних підканалів [23]. Для роботи N-точкового ШПФ, потрібно $N \times \log(N)$ комплексних множень замість N^2 , яке буде необхідне при прямому здійсненні.

У той час як сигнал в каналі поширення проходить від передавальної антени до приймальної, характеристики сигналу змінюються через наступні фактори:

- 1) відстань між двома антенами,
- 2) шляхом прийнятих сигналів,
- 3) навколишнє середовище (відображення від різних поверхонь і дна) на всьому шляху [16].

Вплив каналу поширення на проходження сигналу може бути охарактеризований за допомогою передавальної характеристики.

Для MIMO-OFDM в частотній області прийнятий сигнал і переданий сигнал x може бути виражений як [1]

$$Y = Hx + n, \quad (3.1)$$

де H - матриця передачі каналу;

y - $N_R \times 1$ вектор прийнятого сигналу;

x - $N_T \times 1$ вектор переданого сигналу;

n - $N_R \times 1$ вектор шумів приймача.

Рівняння, представлене нижче, описує систему MIMO з N_T передавальними антенами і N_R приймальними:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_{N_R} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \dots & h_{1N_T} \\ h_{21} & h_{22} & & h_{2N_T} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ h_{N_R1} & h_{N_R2} & \dots & h_{N_RN_T} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_{N_T} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \vdots \\ n_{N_R} \end{bmatrix}, \quad (3.2)$$

де елементи $N_R \times N_T$ каналної матриці H в позиціях (i, j) позначають канал від j -го передавача до i -ї приймальної антени [17].

Просторова кореляція проявляється на практиці, оскільки канали між різними антенами часто корельовані. В ідеальних системах радіозв'язку шлях між передавачем і приймачем (LoS) називають шляхом прямої видимості. Наявність просторової кореляції підтверджено експериментально [12, 14]. Просторова кореляція знижує продуктивність системи MIMO. Тоді вигода від наявності незалежних каналів зменшується.

В роботі [12] передбачається, що кореляційні матриці для передавача і приймача можуть бути розділені. В літературі [14] вводиться модель Кронекера для моделювання просторової кореляції, яка широко застосовується.

У моделі Кронекера кореляція між передавальними антенами і прийомними антенами передбачається незалежно і роздільно [14]. Модель кореляції каналу Кронекера може бути представлена у вигляді

$$H = R_{N_R}^{1/2} H_{\omega} (R_{N_T}^{1/2})^T, \quad (3.3)$$

де R_{N_R} і R_{N_T} – кореляційні матриці приймальних і передавальних антен, тоді як H_{ω} являє собою незалежний однаково розподілений канал Релея з завмираннями (при відсутності прямого шляху поширення).

Висновки до розділу 3

В даному розділі виконано дослідження методів ефективності технології МІМО в стандарті 802.11ac. В даній технології існує можливість покращення характеристик за рахунок додаткових розширень. До методів, що дозволяють підвищити ефективність роботи антени належать:

- технологія направленої променя (beamforming), в якій формування діаграми спрямованості дозволяє збільшити відношення сигнал/шум на 2,5 дБ, що дає можливість використовувати більш високі значення MCS (більш високому значенню MCS відповідає більш висока швидкість передачі даних) при порівнянні з першою діаграмою відстанях;

- технологія ортогонального частотного (OFDM) і просторового (MIMO) рознесення в сучасних безпроводних системах зв'язку широкосмугового доступу дозволяє досягти збільшення інформаційної ефективності в умовах багатопробного поширення сигналу і, як наслідок, підвищити надійність систем;

- підвищення ефективності досягається також за рахунок використання методів просторово-часової обробки (STC – Space Time Coding), що забезпечують передачу і приймання паралельних потоків інформації. Теоретично пропускна здатність системи МІМО з STC може бути збільшена пропорційно кількості антен на передавальному боці.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК БЕЗПРОВІДНОГО КАНАЛУ З ТЕХНОЛОГІЄЮ MIMO

4.1 Організація мережі доступу

Для оцінки способів підвищення ефективності роботи технології MIMO, розглянутих в цій роботі, спроектуємо структурну схему організації безпроводної мережі у багатоквартирному будинку і розрахуємо теоретичну швидкість, потужність та зону дії сигналу.

Безпроводна мережа, яку будемо реалізувати, буде заснована на новому стандарті IEEE 802.11ac з підтримкою технології MU-MIMO і beamforming.

Дана мережа буде управлятися сервером за допомогою безпроводового комутатора. Так як безпроводний комутатор і точки доступу поширюють сигнал сферично, планується встановити по дві точки доступу на третьому, шостому і дев'ятому поверхах по всій площі будинку, а безпроводний комутатор – на п'ятому поверсі, для охоплення кожної точки доступу.

Схема бездротової мережі представлена на рисунку 4.1

Для побудови мережі безпроводного доступу необхідно встановити 6 точок доступу TP-LINK Archer C9[32] по 3 точки на другому і четвертому поверхах.

Безпроводний комутатор DWS-4026 [33] розмістити в робочому приміщенні на третьому поверсі.

Налаштувати безпроводний комутатор, визначити точки доступу. Забезпечити моніторинг та захист мережі.

Доступ до мережі Internet забезпечити через широкосмуговий/DSL модем.

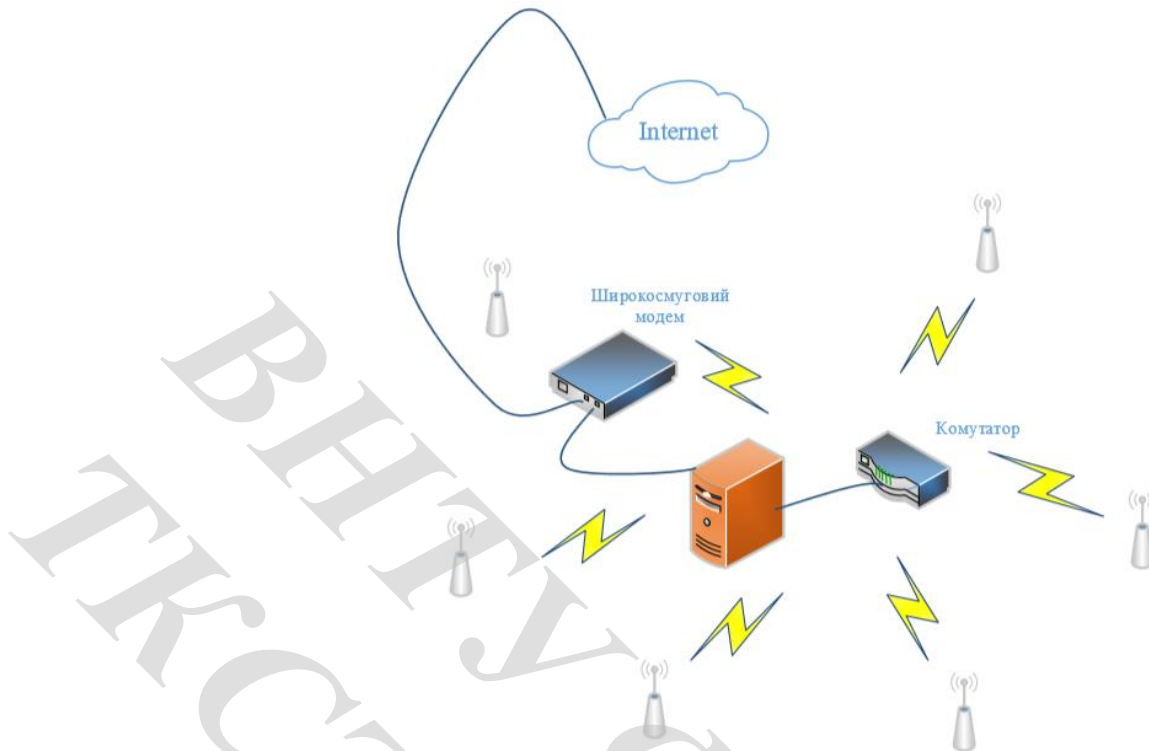


Рисунок 4.1 – Структурна схема безпроводної мережі

4.2 Розрахунок параметрів безпроводного каналу стандарту 802.11ac

4.2.1 Розрахунок кількості точок доступу

Для мереж стандарту 802.11ac швидкість передачі 6,9 Гбіт/с, реальна продуктивність однієї точки доступу більше 300 Мбіт/с. Кожному користувачеві безпроводної мережі необхідно виділити канал з пропускнуною спроможністю не менше 70 Мбіт/с для передачі даних, відправки повідомлень, використання різних додатків.

Пропускную здатність каналу на одне з'єднання можливо розрахувати за формулою[26]:

$$B = \frac{B_{т.д.}}{n}, \quad (4.1)$$

де $V_{т.д}$ – швидкість передачі даних однієї точки доступу (в нашому випадку $V_{т.д}=1000\text{Мбіт/с}$);

n – кількість підтримуваних підключень одною точкою доступу.

Знаємо пропускну здатність каналу на одне з'єднання і тип даного з'єднання, можемо виразити з формули (4.1) величину n і розрахувати кількість підключень до однієї ТД.

$$n = \frac{V_{т.д}}{B}. \quad (4.2)$$

Відповідно виконуємо розрахунок можливої кількості користувачів, які зможуть одночасно підтримуватись однією точкою доступу при передачі даних, враховуючи, що середня кількість користувачів рівна 150. По формулі (2) маємо:

$$n = \frac{1000}{150} \approx 7.$$

Для розрахунку кількості ТД, необхідних для організації підключення до мережі на заданій швидкості, скористуємось формулою:

$$N_{\text{підкл.}} = n. \quad (4.3)$$

де $N_{\text{підкл.}}$ – загальна кількість підключень ($N_{\text{підкл.}} = N$);

n – кількість підключень до мережі на заданій швидкості, що підтримується однією точкою доступу.

Для даного розрахуємо общу кількість користувачів. Максимальна кількість обладнання в даній мережі в загальному складається з клієнтських стнцій.

$$N = n_{\text{кор.}}, \quad (4.4)$$

де $n_{\text{кор.}}$ – кількість користувачів мережі (в нашому випадку рівне максимальній кількості робочих місць $n_{\text{кор.}} = 150$).

Підставивши в формулу (4.4) кількісні значення, отримаємо:

$$N = 150.$$

Тепер розраховуємо кількість точок доступу необхідних для підтримки 100 користувачів відповідно.

Отже, необхідно встановити 2 точки доступу для забезпечення роботи 150 користувачами на 3 поверхах з мінімальною швидкістю 70 Мбіт/с. Тому для 9 поверхів будинку, як і припускалось, вистачить 6 точок доступу.

4.2.2 Розрахунок параметрів антени

Ефективна ізотропна випромінювана потужність визначається за формулою [1]:

$$EIRP = P_{\text{прд}} - G_{\text{прд}} + W_{\text{АФТпрд}}, \quad (4.5)$$

де $P_{\text{ПРД}}$ – вихідна потужність передавача, дБм;

$W_{\text{АФТПРД}}$ – втрати сигналу в АФТ передавача, дБ;

$G_{\text{ПРД}}$ – посилення антени передавача, дБі.

Розрахунок ефективної ізотропної випромінюваної потужності однієї точки доступу (дані представлені в таблиці 4.1)

Таблиця 4.1 – Параметри даних

Позначення	Найменування	Одиниці вимірювання	Значення
$P_{\text{ПРД}}$	Вихідна потужність передавача	дБ	64
$W_{\text{АФТПРД}}$	Коефіцієнт підсилення антени	дБ	2
$G_{\text{ПРД}}$	Втрати сигналу передавача	дБ	6

За формулою (4.5) ефективна ізотропна випромінювана потужність дорівнюватиме:

$$\text{EIRP} = 64 - 6 + 2 = 60(\text{дБм}).$$

Далі розрахуймо зону дії сигналу. Ця методика дозволяє визначити теоретичну дальність роботи безпроводного каналу зв'язку, побудованого на обладнанні D-LINK. Зазначивши, що відстані між антенами, що отримують сигнал – максимально досяжні теоретично, але так як на безпроводний зв'язок впливає безліч факторів, ми не зможемо отримати таку дальність роботи, особливо в межах міста – це практично неможливо.

Для визначення дальності зв'язку необхідно розрахувати сумарне значення підсилення тракту і за графіком визначити відповідне цьому значенню дальність. Посилення тракту в дБ визначається за формулою:

$$Y_{дБ} = P_{t,дБ} + G_{t,дБ} + G_{T,дБ} - P_{min,дБ} , \quad (4.6)$$

де $P_{t,дБ}$ – потужність передавача;

$G_{t,дБ}$ – коефіцієнт посилення передавальної антени;

$G_{T,дБ}$ – коефіцієнт посилення приймальної антени;

$P_{min,дБ}$ – реальна чутливість приймача.

$$Y_{дБ} = 64 + 2 + 0 + 60 = 126 \text{ (дБ)}.$$

Розрахунок дальності роботи БКЗ береться з інженерної формули розрахунку втрат у вільному просторі:

$$FSL = Y_{дБ} - SOM, \quad (4.7)$$

де FSL (Free Space Loss) - втрати у вільному просторі (дБ);

SOM (System Operating Margin) - запас в енергетиці радіозв'язку (дБ).

Враховуючи можливі фактори, які можуть погано впливати на дальність зв'язку, параметр SOM береться рівним 15 дБ. Припускається, що при 15-ти децибельному запасі щодо посилення достатній для інженерного розрахунку.

$$FSL = 126 - 15 = 111 \text{ (дБ)}.$$

Отже, формула для розрахунку дальності зв'язку має наступний вигляд:

$$D = 10^{\left(\frac{FSL}{20} - \frac{33}{20} \lg F\right)}, \quad (4.8)$$

де F – центральна частота, яку вибираємо з таблиці 3.11

$$D = 10^{\left(\frac{FSL}{20} - \frac{33}{20} \lg F\right)} = 1,522 \text{ (км)} \approx 1522 \text{ (м)}.$$

Отже, бачимо, що вибрана ТД дозволить передавати дані на відстань 1,522 (км).

Далі розрахуємо швидкість передачі даних. Використаємо формулу (2.2), яка була наведена в 2 розділі, розглядаючи варіанти реалізації антен MIMO.

Теорема Шеннона [26] каже, що ємність каналу C схильна до адитивного білого гаусівського шуму потужності N і дорівнює:

$$\frac{C}{B} = \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right), \quad (4.9)$$

де C - ємність (пропускна здатність) каналу, біт / с;

B - смуга пропускання каналу, Гц;

S - повна потужність сигналу над смугою пропускання, Вт або B^2 ;

N - повна шумова потужність над смугою пропускання, Вт;

S/N – відношення середньоквадратичної потужності сигналу до середньоквадратичної потужності гаусівського шуму на виході систем передачі, виражене як відношення потужностей (відношення сигнал / шум).

У загальному випадку вираз $\log_2(1 + x)$ пропорційно дорівнює x для малозначення, що в свою чергу означає, що для малого відношення сигнал/шум S/N -пропускна здатність зростає приблизно пропорційно відношенню S/N .

Однак, для великих x , $\log_2(1 + x) \approx \log_2(x)$, що означає, що для більшого відношення S/N пропускна здатність зростає логарифмічно з збільшенням S/N .

Найбільшою перевагою використання MIMO-антен є збільшення пропускної здатності при незмінній ширині смуги і рівня потужності. Пропускна здатність зростає пропорційно мінімальній кількості антен:

$$C = B \cdot \min\{N_T, N_R\} \cdot \log_2\left(1 + N_{R \min\{N_T, N_R\}} \cdot \frac{S}{N}\right), \quad (4.10)$$

При використанні технології MIMO пікова швидкість передачі даних визначається виразом:

$$C_{MIMO} = M \cdot f_d \cdot \log_2\left(1 + \frac{S}{N}\right). \quad (4.11)$$

Параметр M залежить від конфігурації MIMO:

$$M = \min\{M_{\text{прд}}, M_{\text{пр}}\}, \quad (4.12)$$

де $M_{\text{прд}}$ - число передавальних антен;

$M_{\text{пр}}$ - число приймальних антен.

Швидкість передачі даних збільшується лінійно зі збільшенням числа антен.

Для несиметричних антенних конфігурацій MIMO швидкість передачі даних буде розраховуватись наступним чином:

$$C_{\text{прд/пр}} = f_{\text{д}} \cdot \log_2(1 + M(S/N)). \quad (4.13)$$

Розрахуймо пропускну здатність для заданого випадку на лінії вниз: ширина смуги 80 МГц, циклічний префікс звичайний, MIMO 3×3.

Щоб оцінити швидкість передачі даних в низхідному каналі (downlink), спочатку обчислимо кількість ресурсних елементів (або OFDM символів) передається в мілі секундному кадрі в залежності від наявної смуги частот. Таким чином, число ресурсних елементів в кадрі буде складати:

$$N = 12 \cdot 7 \cdot N_{RB} \cdot 2, \quad (4.14)$$

де N_{RB} - число ресурсних блоків РБ;

7 – OFDMA-символів;

12 – число підносійних в ресурсному блоці;

2– слоти.

1) Знайдемо кількість ресурсних елементів в підкадрі:

$$N=12 \cdot 7 \cdot 36 \cdot 2 = 6048 \text{ (ресурсних елементів).}$$

2) Розрахуймо швидкість, з огляду на модуляцію 256-QAM:

$$V_1=(6 \cdot 6048) / 0,001 = 36,288 \text{ (Мбіт/с).}$$

3) З огляду на технологію MIMO 3×3, швидкість буде дорівнювати:

$$V_2=3 \cdot 36,288 = 108,864 \text{ (Мбіт/с).}$$

4) PDCCN канал займає від 1 до 3 символів з 14 в субкадрі. Допускаючи, що в середньому це 2,5 символи, загальне число символів витрачених в каналі PDCCN буде:

$$N_{\text{симв.}} = (2,5 / 14) \cdot 100\% = 17,86\%.$$

5) 6,66% займається циклічним префіксом, 10% йде під захисний інтервал, 14,29% займається пілот-сигналами (2 передавальні антени). Решта каналів (PSS,

SSS, PBCH, PCFICH, PHICH) займають 2,6% від загального числа символів. Загальна кількість витрат на 40 МГц:

$$N_{\text{витр.}} = 17,86 + 6,66 + 10 + 14,29 + 2,6 = 51\%.$$

З отриманих даних видно, що з огляду на технологію MIMO 3×3 вибрана точка доступу дозволяє передавати дані на відстань 1,522 (км) при швидкості передачі 108,864 (Мбіт/с).

4.3 Моделювання системи MIMO

Як згадувалось раніше, двома головними напрямками технології MIMO в стандарті 802.11ac є просторове мультиплексування і просторово-часове кодування.

Різновидом другого кодування є просторово-тимчасове блочне кодування. Сутність такого полягає в тому, що вихідна послідовність символів розділюється на блоки і унікальним чином обробляється. Наступним кроком сигнали випромінюють одночасно всі передавальні антени. На приймальній стороні - кожна приймає суміш сигналів від всіх передавачів. Поділ прийнятих сигналів відбувається застосуванням спеціальної структури переданого блоку [1].

На основі теоретичних даних, описаних в цій роботі, будемо імітаційну модель MIMO системи зв'язку з просторово-тимчасовим блоковим кодуванням (рис.4.5).

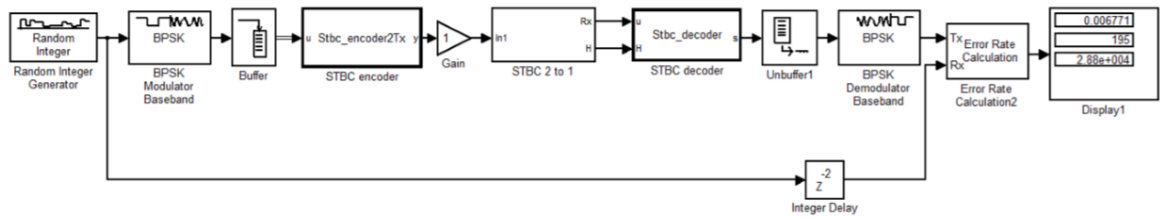


Рисунок 4.5 - Імітаційна модель системи MIMO

Далі проведемо дослідження помилки прийому біта від відношення сигнал/шум для системи зв'язку з MIMO і без MIMO, при різних конфігураціях антен (2×1 , 2×2 , 3×1 і 3×3) і при різних видах модуляції. Результати моделювання представлені на рисунках 4.6 – 4.8.

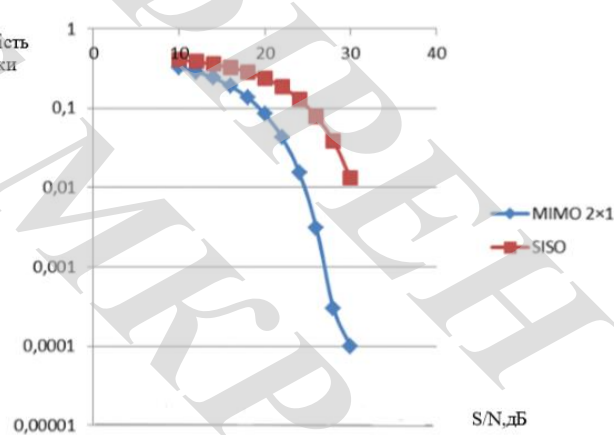


Рисунок 4.6 – Графік залежності ймовірності помилки від відношення сигнал/шум для систем зв'язку з MIMO і без MIMO

З рисунку 4.6 бачимо, що для здійснення ймовірності помилки, що дорівнює 0.1, для систем зв'язку з MIMO потрібне відношення сигнал/шум в 20 дБ. Для забезпечення тієї ж ймовірності помилки для систем зв'язку без MIMO (SISO) потрібне співвідношення сигнал шум в 26 дБ, тобто на 6 дБ більше.

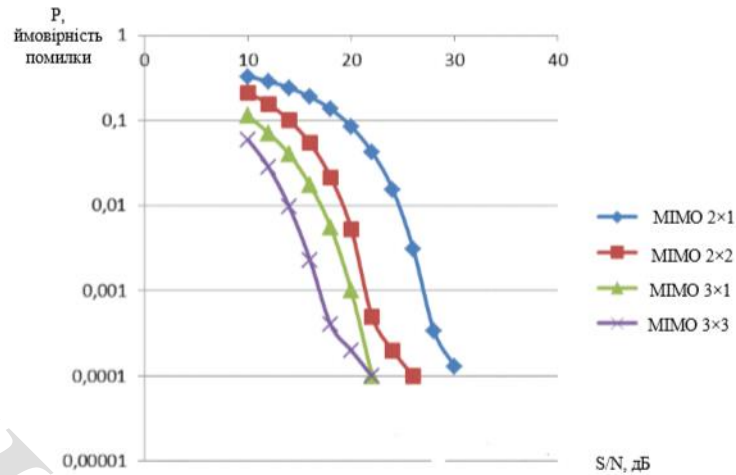


Рисунок 4.7 – Графік залежності ймовірності помилки від відношення сигнал/шум

З рисунку 4.7 можна зрозуміти, що вірогідність помилкового прийому зменшується при збільшенні відношення сигнал/шум. Для MIMO системи з конфігурацією антен 3×1 при збільшенні кількості приймальних антен до 2-х для ймовірності помилкового прийому 0,01 необхідне відношення сигнал/шум зменшується на 4 дБ. З порівняння MIMO систем з конфігурацією антен 2×1 і 3×1 для ймовірності помилкового прийому 0,01 необхідне відношення сигнал/шум зменшується на 8 дБ.

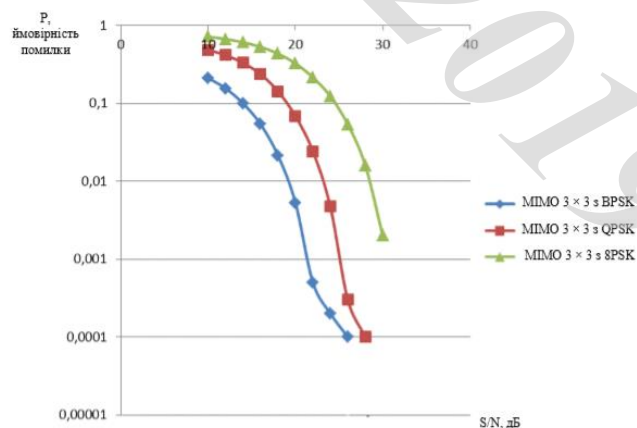


Рисунок 4.8 – Графік залежності ймовірності помилки від відносини сигнал/шум при різних видах модуляції

З рисунку 4.8 можна зрозуміти, що ймовірність помилкового прийому збільшується при переході від модуляції BPSK до QPSK і від QPSK до 8PSK. При переході від модуляції QPSK до 8PSK для ймовірності помилкового прийому 0,01 необхідне відношення сигнал/шум збільшується на 6 дБ.

Висновки до розділу 4

У цьому розділі була спроектована структурна схема для побудови безпроводної мережі у багатоквартирному будинку за допомогою технології MU-MIMO та «Beamforming» стандарту 802.11ac, а також були проведені розрахунки параметрів антени, кількості точок доступу, втрати сигналу, радіусу дії сигналу і швидкості передачі.

Розрахунки показали, що необхідно встановити 2 точки доступу для забезпечення роботи 150 користувачам на 3 поверхах з мінімальною швидкістю 70 Мбіт/с. Тому для 9 поверхів будинку, як і припускалось теоретично, вистачить 6 точок доступу. При цьому, вибрана ТД дозволить передавати дані на відстань 1,522 (км) зі швидкістю 108,864 (Мбіт/с).

Результати моделювання показали ефективність використання антени MIMO в порівнянні з антеною SISO.

5. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

5.1 Технологічний аудит результатів проведених досліджень ефективності бездротових мереж 802.11

Як було підкреслено у попередніх розділах цієї магістерської кваліфікаційної роботи, розвиток сучасного суспільства супроводжується стрімким збільшенням обсягів інформації, появою все нових і нових інформаційно-телекомунікаційних систем тощо.

Сьогодні неможливо уявити повноцінне функціонування суспільства без використання бездротових мереж та технологій, вони стали незамінною частиною повсякденного життя практично кожної людини. Відповідно до даного зростають і вимоги, які висуваються до бездротових мереж та технологій, тому їх удосконалення є одним із найбільш пріоритетних питань, яке постійно перебуває у полі зору сучасних дослідників та фахівців.

Проведений нами аналіз показав, що бездротові мережі та технології, які сьогодні використовуються, не позбавлені певних недоліків. Зокрема, одні широкопasmові бездротові мережі надійно працюють тільки в умовах прямої видимості від абонента до базової станції, другі – не забезпечують якісного обслуговування великої кількості абонентів тощо. Але найважливіше – практично всі бездротові мережі та системи мають так звану недостатню частотну ефективність, тобто вони не можуть надавати кожному абоненту (користувачу) потрібну інформацію з високою швидкістю саме через наявність обмеженого частотного ресурсу.

У зв'язку з цим і загострилася проблема створення нового класу систем широкопasmового бездротового доступу – систем з інтеграцією послуг.

Тому перед виконаною нами магістерською кваліфікаційною роботою було поставлене завдання дослідити сучасні тенденції розвитку

телекомунікаційних бездротових мереж та проаналізувати сучасні технології побудови цих мереж.

В результаті проведеного дослідження було зроблено висновок, що всі сучасні технології: Wi-Fi, LTE і майбутні 5G-стандарти є актуальними і кожна з них може знайти свою нішу у галузі телекомунікацій. Особливо ретельно нами було розглянуто технологію Wi-Fi IEEE 802.11; зроблено порівняння стандартів цієї технології, розглянуто місце даного стандарту в моделі OSI та дано характеристику стандарту 802.11ac на фізичному та каналному рівнях.

У підсумку, нами було зроблено висновок, що бездротові широкопasmові мережі та технології мають гарну перспективу, і що сьогодні можна впевнено стверджувати про розвиток бездротової революції в області передачі інформації. Зокрема, наші дослідження підтвердили такі суттєві переваги бездротових мереж та технологій, як:

- можливість динамічної зміни топології мережі при підключенні, пересуванні і відключенні мобільних користувачів без значних втрат часу (тобто гнучкість архітектури);
- високу швидкість передачі інформації (1-1000 Мб/с і вище);
- високу швидкість проектування і розгортання мережі;
- високий ступінь захисту від несанкціонованого доступу до мережі;
- відмову від витратного і не завжди можливого прокладання або оренди оптоволоконного чи мідного кабелю тощо.

Для встановлення рівня комерційного потенціалу результатів проведених нами досліджень ефективності бездротових мереж 802.11 проведемо їх технологічний аудит. Для даного запросимо 3-х експертів, що займаються дослідженням та розв'язанням цієї проблеми: кандидатів технічних наук Городецьку О.С., Семенову О.О. та Васильківського М.В.

Експерти здійснювали технологічний аудит результатів проведених досліджень відповідно з критеріями, наведеними в таблиці 5.1 [1].

Таблиця 5.1 – Критерії за якими проводиться технологічний аудит

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
кри-тері й	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції:					
	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено роботоздатність продукту в реальних умовах

Продовження таблиці 5.1

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
кри-тері й	0	1	2	3	4
Ринкові переваги (недоліки):					
	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
	Технічні та споживчі властивості продукту значно	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші,	Технічні та споживчі властивості продукту на	Технічні та споживчі властивості продукту трохи	Технічні та споживчі властивості продукту значно

	гірші, ніж в аналогів	ніж в аналогів	рівні аналогів	кращі, ніж в аналогів	кращі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкурентів немає
Практична здійсненність					
	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї

Продовження таблиці 5.1

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Кри тері й	0	1	2	3	4
	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
0	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
1	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
2	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Запрошені експерти оцінили результати проведених нами досліджень ефективності бездротових мереж 802.11 за 5-ти бальною системою оцінок («0», «1», «2», «3» та «4»), які зведено в таблицю 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати технологічного аудиту отриманих наукових результатів

Критерії	Прізвище, ініціали експерта		
	Городецька О.С.	Семенова О.О.	Васильківський М.В.
	Бали, виставлені експертами:		
1	1	1	1
2	2	2	2
3	2	2	2
4	2	2	2
5	2	2	2
6	2	2	2
7	1	1	2
8	2	1	2
9	2	1	2
10	1	1	2
11	2	2	2
12	2	2	2
Сума балів	СБ ₁ = 21	СБ ₂ = 19	СБ ₃ = 23

Далі розрахуємо середньоарифметичну суму балів, що їх виставили експерти:

Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_{i=1}^3 СБ_i}{3} = \frac{21+19+23}{3} = \frac{63}{3} = 21.$
---------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------

Оскільки середньоарифметична сума балів, що їх виставили експерти, дорівнює 21-му балу, то, керуючися рекомендаціями [2], наведеними в таблиці 5.3, можна зробити висновок, що результати проведених нами досліджень ефективності бездротових мереж 802.11 мають рівень комерційного потенціалу, який практично можна вважати «середнім».

Таблиця 5.3 – Рівні комерційного потенціалу отриманих результатів

Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$, розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу
0 – 10	Низький
11 – 20	Нижче середнього
21 – 30	Середній
31 – 40	Вище середнього
41 – 48	Високий

Такий рівень комерційного потенціалу результатів, отриманих під час проведення нами досліджень, пояснюється тим, що наші дослідження носили в

основному теоретичний характер і потребують подальшого продовження. Разом з тим, отримані нами результати відкривають широкі можливості для побудови високоякісних бездротових мереж та технологій, які можуть бути використані в усіх галузях економіки та суспільного життя, тобто в результаті реалізації отриманих результатів ми будемо мати значний соціальний ефект, який полягає у суттєвому покращенні роботи безпроводної мережі.

5.2 Розрахунок витрат на проведення досліджень

Для проведення наукових досліджень під час виконання поставлених у магістерській роботі завдань було зроблено такі витрати: [2]:

5.2.1. Основна заробітна плата Z_o дослідників:

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \cdot t \text{ грн,} \quad (5.1)$$

де M – місячний посадовий оклад розробника, грн.

Для науковців та дослідників посадові оклади не є високими і коливаються в межах $M = (4173 \dots 14250)$ грн. за місяць;

T_p – число робочих днів в місяці; прийmemo, що $T_p = 20$ днів;

t – число робочих днів роботи науковців (дослідників).

Зроблені розрахунки основної заробітної плати зведемо до таблиці 5.4:

Таблиця 5.4 – Основна заробітна плата дослідників (округлено)

Найменування посадивиконавця	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на оплату праці, грн	Примітка

1. Науковий керівник магістерської роботи	12340	617	25 годин	2571	6-год. робочий день
2. Магістрант–дослідник	1875	94	61	5734	
3. Консультант економічної частини	10450	523	2,5 години	218	
Загалом витрат на оплату праці				$Z_o = 8523$ грн	

5.2.2. Додаткова заробітна плата дослідників Z_d розраховується за формулою:

$$Z_d = K_{\text{доп}} \cdot Z_o = (0,1 \dots 0,12) \cdot Z_o, \quad (5.2)$$

де $K_{\text{доп}}$ – коефіцієнт, що враховує витрати на оплату працівникові, які не пов'язані

безпосередньо з його роботою (відпустки тощо).

Для нашого випадку домовимося., що $K_{\text{доп}} = 0,112$.

Тоді отримаємо:

$$Z_d = 0,112 \times 8523 \approx 955 \text{ грн.}$$

5.2.3. Нарахування на заробітну плату $H_{\text{зп}}$ розраховуються за формулою:

$$H_{\text{зп}} = (Z_o + Z_d) \cdot \frac{\beta}{100}, \quad (5.3)$$

де $\beta = 22\%$ – ставка єдиного внеску на загальне державне соціальне страхування. Для нашого випадку отримаємо:

$$H_{\text{зп}} = (8523 + 955) \times 0,22 \approx 2085 \text{ грн.}$$

5.2.4. Амортизація A основних засобів, комп'ютерів, принтерів, приміщень, обладнання тощо розраховується за формулою:

$$A = \frac{Ц \cdot N_a}{100} \cdot \frac{T}{12} \text{ грн,} \quad (5.4)$$

де $Ц$ – загальна балансова вартість основних засобів, які використовувалися під час проведення досліджень, грн;

N_a – річна норма амортизаційних відрахувань. Спрощено можна прийняти, що

$$N_a = (2,25 \dots 22,5)\%;$$

T – термін, використання кожного виду основних засобів, місяці.

Зроблені нами розрахунки зведемо у таблицю 5.5.

5.2.5. Витрати на матеріали M розраховуються за формулою:

$$M = \sum_1^n N_i \cdot Ц_i \cdot K_i - \sum_1^n V_i \cdot Ц_v \text{ грн,} \quad (5.5)$$

де N_i – витрати матеріалу i -го найменування, кг; $Ц_i$ – вартість матеріалу i -го найменування, грн/кг.; K_i – коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = (1,1 \dots 1,15)$; V_i – маса відходів матеріалу i -го найменування, кг; $Ц_v$ – ціна відходів матеріалу i -го найменування, грн/кг; n – кількість видів матеріалів.

Таблиця 5.5 – Розрахунок амортизаційних відрахувань

Найменування основних засобів	Балансова вартість, грн.	Норма амортизації, %	Термін використання, міс.	Величина амортизаційних відрахувань, грн.
1. Основні засоби, принтери, обладнання, комп'ютери тощо	30325	22,5	2,7 міс. при 45% використанні	≈ 691
2. Приміщення університету, кафедри та радіотехнічного факультету	12580	3,6	3,2 міс. при 50% використанні	≈ 60
Разом				A = 751

5.2.6. Витрати на комплектуючі К розраховуються за формулою:

$$K = \sum_{i=1}^n N_i \cdot C_i \cdot K_i \text{ грн.}, \quad (5.6)$$

де N_i – кількість комплектуючих i -го виду, шт.; C_i – ціна комплектуючих i -го виду, грн; K_i – коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = (1,1 \dots 1,15)$; n – кількість видів комплектуючих.

Загальна вартість основних матеріалів, які були використані під час проведення даних досліджень, складає приблизно 1150 грн.

5.2.7. Витрати на силову електроенергію V_e , що була використана при виконанні даної роботи, розраховуються за формулою:

$$V_e = \frac{V \cdot \Pi \cdot \Phi \cdot K_{\Pi}}{K_d}, \quad (5.7)$$

де V – вартість 1 кВт-год. електроенергії, в 2019 р. $V \approx 2,50$ грн/кВт;

Π – установлена потужність обладнання, кВт; $\Pi = 0,99$ кВт;

Φ – фактична кількість годин роботи обладнання, годин.

Прийmemo, що $\Phi = 172$ годин;

K_{Π} – коефіцієнт використання потужності; $K_{\Pi} < 1 = 0,87$.

K_d – коефіцієнт корисної дії, $K_d = 0,62$.

Тоді витрати на силову електроенергію складуть:

$$V_e = \frac{V \cdot \Pi \cdot \Phi \cdot K_{\Pi}}{K_d} = \frac{2,50 \cdot 0,99 \cdot 172 \cdot 0,87}{0,62} \approx 597 \text{ грн.}$$

5.2.8. Інші витрати $V_{ін}$ (опалення, освітлення тощо) розраховуються як (100...300)% від основної заробітної плати виконавців цієї роботи, тобто:

$$V_{ін} = (1..3) \times 3_0. \quad (5.8)$$

Для нашого випадку отримаємо:

$$V_{ін} = 1,4 \times 8523 \approx 11932 \text{ грн.}$$

5.2.9. Сума всіх попередніх статей дає витрати на проведення наукових досліджень безпосередньо магістрантом – В.

$$B = 8523 + 955 + 2085 + 751 + 1150 + 597 + 11932 = 25993 \text{ грн.}$$

5.2.10 Загальні витрати на виконання цієї роботи розраховуються за формулою:

$$ЗВ = \frac{B}{\beta}, \quad (5.9)$$

де β – коефіцієнт, який характеризує етап виконання даної роботи на шляху до її можливого впровадження: якщо це тільки науково-дослідні роботи, то $\beta \approx 0,1$; якщо це стадія технічного проектування, то $\beta \approx 0,2$; якщо стадія розробки конструкторської документації, то $\beta \approx 0,3$; якщо це стадія розробки технології, то $\beta \approx 0,4$; якщо це стадія розробки дослідного зразка, то $\beta \approx 0,5$; якщо це стадія розробки промислового зразка, $\beta \approx 0,7$; якщо це стадії впровадження, то $\beta \approx (0,8 - 0,9)$.

Для нашого випадку доцільно прийняти, що $\beta \approx 0,70$.

Тоді:

$$ЗВ = \frac{25993}{0,7} = 37132,86 \text{ грн або приблизно } 38 \text{ тис. грн.}$$

Тобто загальні витрати на виконання цієї роботи становлять приблизно 38 тисяч грн.

5.3 Оцінювання технічного рівня проведених наукових досліджень ефективності бездротових мереж 802.11

Оскільки на цьому етапі проведення досліджень ефективності бездротових мереж 802.11 складно більш-менш реально оцінити можливості комерціалізації отриманих результатів (про які було зазначено у технологічному аудиті), проведемо оцінювання технічного рівня отриманих нами результатів.

Для кількісного оцінювання технічного рівня результатів проведених досліджень може бути використаний комплексний показник K_p , який розраховується за формулою [3]:

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_c \cdot R}{B \cdot t}, \quad (5.10)$$

де: I – коефіцієнт важливості досліджень, $I = (2 \dots 5)$;

n – коефіцієнт використання результатів досліджень;

$n = 0$, коли результати роботи не будуть використовуватись;

$n = 1$, коли результати будуть використовуватись частково;

$n = 2$, коли результати роботи будуть використовуватись в дослідно-

конструкторських розробках;

$n = 3$, коли результати можуть використовуватись навіть без проведення

дослідно-конструкторських розробок;

T_c – коефіцієнт складності досліджень, $T_{скл} = (1 \dots 3)$;

R – коефіцієнт результативності досліджень:

$R = 4$, якщо результати роботи плануються вище відомих;

$R = 3$, якщо результати роботи відповідають відомому рівню;

$R = 2$, якщо результати нижче відомих;

$R = 1$, якщо результат роботи не визначений;

B – вартість (або витрати) проведених досліджень; для нашого випадку
 $B = 33$ тис. грн;

t – час проведення подальших досліджень, років.

Якщо $K_p > 1$, то технічний рівень отриманих результатів проведених досліджень є високим.

При $K_p \approx 1,0$ технічний рівень отриманих результатів проведених досліджень є задовільним.

Для визначення коефіцієнтів, наведених у формулі 4.10, запросимо тих же експертів, які здійснювали технологічний аудит.

Результати висновків експертів занесено у таблицю 4.6.

Таблиця 4.6 – Результати оцінювання експертами зазначених коефіцієнтів

Показник	Експерти			Переважаюча (усереднена) оцінка
	Городецька О.С.	Семенова О.О.	Васильківський М.В.	
1. Коефіцієнт важливості роботи, I	4	4	3,5	4
2. Коефіцієнт використання результатів роботи, n	2,0	2,1	2	2
3. Коефіцієнт складності роботи, T_c	1,2	1,7	1,0	1,3
4. Коефіцієнт результативності роботи, R	1,5	1,8	1,7	1,5

5. Вартість роботи, тис. грн.	87	87	87	87
6. Час проведення подальших досліджень, роки	0,75	0,5	1	0,75

Аналізуючи результати, наведені в таблиці 4.6, можна зробити висновок, що переважаючими (або усередненими) коефіцієнтами, які були виставлені експертами, будуть такі:

I – коефіцієнт важливості проведених досліджень, $I = 4$;

n – коефіцієнт використання результатів роботи; $n = 2,0$;

T_c – коефіцієнт складності роботи, $T_{\text{скл}} = 1,3$;

R – коефіцієнт результативності роботи; $R = 1,5$;

B – вартість роботи; $B = 38$ тис. грн.

t – час завершення досліджень, $t = 0,75$ рік.

Тоді показник K_p , що визначає технічний рівень результатів, отриманих під час проведених досліджень, буде дорівнювати:

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_c \cdot R}{B \cdot t} = \frac{4^2 \cdot 1,3 \cdot 1,5}{38 \cdot 0,75} = \frac{16 \cdot 1,3 \cdot 1,5}{38 \cdot 0,75} = 1,095.$$

Оскільки $K_p = 1,095 > 1$, то це може свідчити про те, що технічний рівень результатів проведених наукових досліджень є задовільним.

Результати виконаної економічної частини магістерської кваліфікаційної роботи зведено у таблицю:

Показники	Задані у ТЗ	Досягнуто у	Висновок
1. Витрати на виконання роботи	Не більше 40 тис. грн	38 тис. грн.	Виконано
2. Коефіцієнт використання результатів проведених досліджень	не менше 2	2	Виконано
3. Коефіцієнт важливості проведених досліджень	не менше 3	4	Виконано
4. Коефіцієнт результативності проведених досліджень	не менше 1,5	1,5	Виконано
5. Комплексний показник, що характеризує технічний рівень отриманих результатів	не менше 1,0	1,095	Досягнуто

Таким чином, основні техніко-економічні завдання, що були поставлені перед магістрантом під час виконання цієї магістерської кваліфікаційної роботи, практично повністю виконані.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Захист працюючих під час трудового процесу від небезпечних та шкідливих виробничих факторів, які справляють негативний вплив на життя, здоров'я, а також працездатність людини, гарантування належних умов праці є основними аспектами охорони праці, як складової безпеки життєдіяльності.

В даному розділі наводиться розгляд шкідливих, небезпечних [1] і уражаючих для людини і оточуючого середовища факторів, що виникають під час проведення дослідження ефективності безпроводних мереж стандарту 802.11. Тут висвітлюються, в тому числі, технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, визначення ефективності екранування від ЕМВ суцільним екраном, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки при проведенні дослідження, безпека у надзвичайних ситуаціях.

6.1 Виробнича санітарія та гігієна праці

6.1.1 Склад повітря робочої зони та мікроклімат

Вибираємо для приміщення для проведення дослідження ефективності безпроводних мереж стандарту 802.11, категорію важкості робіт за фізичним навантаженням – легка Іа.

У відповідності із [2] допустимі показники температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні для теплого та холодного періодів року наведені у таблиці 6.1 додатку Х.

При опроміненні менше 25% поверхні тіла людини, допустима інтенсивність теплового опромінення – 100 Вт/м^2 .

Вміст шкідливих речовин в повітрі робочої зони не повинен перевищувати гранично допустимих концентрацій (ГДК) в повітрі робочої

зони і підпадає під систематичний контроль для запобігання можливості перевищення ГДК, значення яких для роботи з ЕОМ наведено в таблиці 6.2 додатку X.

При роботі з ЕОМ джерелом зараження повітря є також іонізація молекул речовин, які містяться у повітрі. Рівні додатних та від'ємних іонів повинні відповідати [4] та наведені в таблиці 6.3 додатку X.

З метою встановлення нормованих параметрів мікроклімату та складу повітря робочої зони запропоновано такі заходи:

- 1) в приміщенні повинна бути встановлена система опалення для холодного і кондиціонування для теплого періодів року;
- 2) припливно-витяжна система вентиляції, а при несприятливих погодних умовах кондиціонування.

6.1.2 Виробниче освітлення

З метою створення гігієнічних раціональних умов на робочих місцях значні вимоги пред'являються щодо якісних та кількісних показників освітлення.

З точки зору задач зорової роботи в приміщенні, де проводиться робота з дослідження ефективності безпроводних мереж стандарту 802.11, відповідно [3] знаходимо, що вони відносяться до IV розряду зорових робіт. Приймаємо контраст об'єкта з фоном – середній та характеристику фону – середню, яким відповідає підрозряд *в*.

Нормативні значення коефіцієнта природного освітлення (КПО) та мінімальні значення освітленості для штучного освітлення приведені в таблиці 6.4 додатку X.

Так як приміщення розташоване в місті Вінниця (друга група забезпеченості природним світлом), а вікна орієнтовані за азимутом 0° , то за таких обставин КЕО розраховується за виразом [3, 4]

$$e_N = e_n m_N [\%], \quad (6.1)$$

де e_n – табличне значення КЕО для бокового освітлення, %;

m_N – коефіцієнт світлового клімату;

N – порядковий номер групи забезпеченості природним світлом.

За відомими значеннями отримаємо нормовані значення КПО для бокового та суміщеного освітлення:

$$e_{N.б} = 1,5 \cdot 0,9 = 1,4 (\%);$$

$$e_{N.с} = 0,9 \cdot 0,9 = 0,8 (\%).$$

З метою забезпечення нормованих значень показників освітлення запропоновано такі заходи:

1) за недостатнього природного освітлення у світлий час доби доповнення штучним за допомогою люмінесцентних ламп з утворенням системи суміщеного освітлення;

2) використання штучного освітлення у темний час доби.

6.1.3 Виробничі віброакустичні коливання

Зважаючи на те, що при використанні пристроїв крім усього іншого устаткування застосовується обладнання, робота якого генерує шум та вібрацію, потрібно передбачити шумовий та вібраційний захист.

Визначено, що приміщення, де відбувається робота з дослідження ефективності безпроводних мереж стандарту 802.11 може містити робочі місця із шумом та вібрацією, що спричиняється рухомими елементами ЕОМ.

Для попередження травмування працівників від дії шуму він підпадає під нормування. Головним документом стосовно промислового шуму, що діє на території України, є [5], відповідно з яким нормовані рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні шуму на робочих місцях в промислових приміщеннях не мають перевищувати значень, які наведено у таблиці 6.5 додатку X. Норми виробничих вібрацій наведено в таблиці 5.6 додатку X для локальної вібрації.

З метою покращення віброакустичного клімату у приміщенні передбачено такі заходи:

- 1) оздоблення стін спеціальними перфорованими плитами, панелями з метою шумопоглинання;
- 2) передбачено використовувати в приміщенні штори із щільної тканини.

6.1.4 Виробничі випромінювання

Значення напруженості електромагнітного поля на робочих місцях з персональними комп'ютерами мають не перевищувати граничнодопустимі, які складають 20 кВ/м.

Експозиційна доза рентгенівського випромінювання на відстані 5 см від екрана до корпусу монітора при будь-яких положеннях регульовальних пристроїв

не повинні перевищувати $7,74 \cdot 10^{-12}$ Кл/кг, що відповідає потужності еквівалентної дози 0,1 мБер/год (100 мкР/год) у відповідності до [14].

З метою гарантування захисту і досягнення нормативних рівнів випромінювань необхідно використовувати екранування робочого місця і скорочення часу опромінення за рахунок перерв на відпочинок.

Виконати розрахунок ефективності екранування від електромагнітного випромінювання суцільним сталевим екраном товщиною $\delta = 0,5$ мм, якщо частота поля $f = 195$ кГц.

Ефективність екранування L від електромагнітного випромінювання у випадку використання суцільного екрану можна визначити з формули

$$\delta = \frac{65L}{\sqrt{f\mu\gamma}} \text{ [мм]}, \quad (6.2)$$

Звідки

$$L = \frac{\delta \sqrt{f\mu\gamma}}{65} \text{ [дБ]}, \quad (6.3)$$

де δ – товщина екрану, мм;

f – частота електромагнітного поля, Гц;

μ – магнітна проникність металу захисного екрану, Г/м;

γ – електрична провідність металу екрану, $(\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$.

У випадку екранування сталевим екраном $\mu = 72\pi 10^{-6}$ Г/м, $\gamma = 10^7$ $(\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$.

Після підстановки відомих значень у формулу (6.3), одержимо:

$$L = \frac{0,5\sqrt{195 \cdot 10^3 \cdot 72\pi 10^{-6} \cdot 10^7}}{65} = 161,51 \text{ (дБ)}.$$

6.2 Промислова та пожежна безпека при проведенні дослідження

На теперішньому етапі розвитку техніки, автоматизації розробок та досліджень широкого використання на робочому місці набули ЕОМ. Велика кількість прикладних програм перетворює ЕОМ на основне знаряддя праці радіоінженера.

6.2.1 Безпека щодо організації робочих місць

Розміщення робочих місць, оснащених ЕОМ здійснюється у приміщеннях з одnobічним розміщенням вікон, що обов'язково повинні бути оснащені сонцезахисним засобами: шторами та жалюзьями [7].

У випадку розміщення робочих місць у приміщеннях з джерелами небезпечних та шкідливих виробничих факторів, вони повинні розташовуватися в абсолютно відокремлених кабінетах з природним освітленням та організованою вентиляцією. Площа одного робочого місця має складати не менше 6,0 м², об'єм – не менше як 20 м³, а висота – не менше 3,2 м [8].

Поверхня підлоги має бути гладкою, не слизькою, без вибоїн, мати антистатичні властивості, зручною для вологого прибирання. Не дозволяється застосовувати для оснащення інтер'єру полімери, які забруднюють повітря шкідливими хімічними речовинами та сполуками.

6.2.2 Електробезпека

У середині приміщення, в якому здійснюється робота з дослідження ефективності безпроводних мереж стандарту 802.11, особливу увагу потрібно надати уникненню загрози ураження електричним струмом. У відповідності до [9] це приміщення належить до приміщень із підвищеною небезпекою ураження електричним струмом через наявність високої (понад 75 %) відносної вологості. Через це безпека використання електрообладнання має гарантуватись рядом заходів, що передбачають використання ізоляції струмовідних елементів, захисного заземлення, захисних блокувань та ін [10].

6.2.3 Пожежна безпека

Відповідно до [11] приміщення, в якому проводиться робота з дослідження ефективності безпроводних мереж стандарту 802.11, відноситься до категорії пожежної небезпеки Б. Дане приміщення відноситься до 2-го ступеня вогнестійкості, в якому приміщення знаходяться в будівлі з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону із використанням листових і плитних негорючих матеріалів.

Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій приміщення, що розглядається наведені в таблиці 6.7. В таблиці 6.8 приведено протипожежні норми проектування будівель і споруд.

Встановлюємо, що приміщення, де проводиться робота з дослідження, має бути обладнане двома вогнегасниками, пожежним щитом, а також ємністю з піском [12].

6.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях.

Дослідження безпеки роботи безпроводної мережі в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

Серед факторів надзвичайних ситуацій, що можуть вплинути на працездатність безпроводної мережі є землетрус, вплив іонізуючих випромінювань та електромагнітний імпульс.

Джерелами іонізуючих випромінювань є радіоактивних елементи і їх ізотопи, ядерні реактори, прискорювачі заряджених частинок та ін. Рентгенівські установки і високовольтні джерела постійного струму відносяться до джерел рентгенівського випромінювання.

В елементній базі електричних та електронних систем під дією іонізуючих випромінювань можлива зміна майже всіх електричних і експлуатаційних характеристик, що залежить від протікання процесів іонізації і порушення структури матеріалів. Практика експлуатації таких систем в умовах радіоактивних випромінювань дозволяє зробити висновки про те, що системи миттєво втрачають працездатність при критичних рівнях радіації, або ж в їх елементах можуть початися відновлювані (невідновлювані) зміни через деякий час після радіоактивного зараження при рівнях значно нижчих від критичних.

Стосовно електромагнітних випромінювань варто сказати, що навіть короточасне електромагнітне випромінювання великої потужності, здатне вивести з ладу радіоелектронні пристрої, складові основу будь-якої інформаційної системи. Елементна база радіоелектронних пристроїв вельми чутлива до енергетичних перевантажень, потік електромагнітної енергії достатньо високої щільності здатний випалити напівпровідникові переходи, повністю або частково порушивши їх нормальне функціонування. Як відомо, напруга пробою переходів невисока і складають від одиниць до десятків вольт залежно від типу приладу. Так, навіть у кремнієвих прецизійних біполярних транзисторів, що володіють підвищеною міцністю до перегрівів, напруга пробою

знаходиться в межах від 15 до 65 В, а у арсенід-галлієвих приладів цей поріг рівний 10 В. запам'ятовуючі пристрої, що складають частину будь-якого комп'ютера, мають порогову напругу порядку 7 В. Типові логічні інформаційні системи на МОН-структурах - від 7 до 15 В, а мікропроцесори зачасту припиняють свою роботу при нарузі 3,3-5 В [60]. Крім необоротних відмов імпульсна електромагнітна дія може викликати відновлювані відмови, або паралізацію радіоелектронного пристрою, коли через виникаючі перевантаження воно на якийсь відрізок часу втрачає чутливість. Можливі також помилкові спрацьовування чутливих елементів, що може привести, наприклад, до детонації різних видів зброї. За спектральними характеристиках ЕМВ можна розділити на два види: низькочастотне, таке, що створює електромагнітне імпульсне випромінювання на частотах нижче 1 МГц, і високочастотне, таке, що забезпечує випромінювання СВЧ-діапазону. Обидва види ЕМВ мають відмінності також в способах реалізації і в якійсь мірі в шляхах дії на радіоелектронні пристрої. Так, проникнення низькочастотного електромагнітного випромінювання до елементів пристроїв обумовлене, в основному, наведеннями на дротяну інфраструктуру, що включає телефонні лінії, кабелі зовнішнього живлення, подачі і знімання інформації. Шляхи ж проникнення електромагнітного імпульсу великі - вони ще включають пряме проникнення в радіоелектронну апаратуру через антенну систему, оскільки ЕМІ охоплює і робочу частоту і має велику напругу наведення. Тому вкрай важливо дослідити безпеку роботи безпроводної інформаційної мережі в умовах впливу вказаних факторів надзвичайних ситуацій.

6.3.1 Дослідження безпеки роботи безпроводної мережі в умовах дії іонізуючих випромінювань

Критерієм, що дозволяє оцінити безпеку роботи безпроводної мережі в умовах дії іонізуючих випромінювань, є максимальне значення потужності дози,

яка може зумовити виникнення змін в його елементній базі, не порушуючи працездатність в цілому.

Аналіз структури мережі показує, що елементами, без яких неможливе її нормальне функціонування, є блок живлення та модеми для підключення.

Граничні дози іонізуючих випромінювань для елементів безпровідної мережі наведені в табл. 6.6.

Таблиця 6.6 – Граничні дози іонізуючих випромінювань для елементів безпровідної мережі

Блоки	Елементи безпровідної мережі	Граничні дози елементів $D_{i\text{гр}}, P$	Гранична доза мережі в цілому $D_{\text{гр}}, P$
Блок живлення	АТХ-650W	10^7	10 ⁴
Модем	ZyXEL	10^4	
	D-LINK	10^6	
и	TP-LINK	10^5	

За мінімальним значенням визначається границя безпеки роботи мережі в цілому, тобто $D_{\text{гр}} = 10^4 P$.

Можлива доза опромінення мережі протягом експлуатації в заданих умовах визначається за формулою:

$$D_{\text{м}} = \frac{2 \cdot P_1 \cdot (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})}{K_{\text{посл. буд.}}}, \quad (6.4)$$

де P_1 – рівень радіації в умовах експлуатації ($P_1 = 5,75$ Р/год);

t_k – час закінчення експлуатації ($t_k = 117000$ год);

t_n – час початку експлуатації ($t_n = 1$ год);

$K_{\text{посл. буд.}}$ – коефіцієнт послаблення будівлі ($K_{\text{посл. буд.}} = 4$).

Підставивши чисельні значення, отримаємо:

$$D_m = 2 \cdot 5,75 \cdot \frac{(\sqrt{11700} - \sqrt{1})^2}{4} \approx 33018,42 \text{ (P)}.$$

Визначаємо допустимий час роботи мережі за виразом:

$$t_{\text{дон}} = \left(\frac{D_{\text{зр}} \cdot K_{\text{носл. буд.}} + 2 \cdot P_1 \cdot \sqrt{t_n}}{2 \cdot P_1} \right)^2. \quad (6.5)$$

Обчислимо допустимий час роботи мережі за формулою (6.5):

$$t_{\text{дон}} = \left(\frac{10000 \cdot 4 + 2 \cdot 5,75 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 5,75} \right)^2 \approx 104276 \text{ (год)}.$$

Оскільки $D_{\text{зр}} > D_m$ ($10000 \text{ P} \leq 104276 \text{ P}$), то робота мережі в умовах дії радіаційного випромінювання не є досить стійкою і вимагає вжити заходи щодо підвищення безпеки роботи мережі в таких умовах.

6.3.2 Дослідження безпеки роботи безпроводної мережі в умовах дії електромагнітного імпульсу

За критерій стійкості роботи мережі приймається коефіцієнт безпеки:

$$K_{\sigma(\epsilon, \epsilon)} = 20 \lg \frac{U_{\text{дон}}}{U_{(\epsilon, \epsilon)}}, \quad (6.6)$$

де $U_{\sigma(\epsilon)}$ – напруга наведення у вертикальних і горизонтальних частинах напруженості $E_{\sigma(\epsilon)}$;

$U_{\text{дон}}$ – допустима напруга живлення, що розраховується за виразом:

$$U_{\text{дон}} = U_{\text{жс}} + \frac{U_{\text{жс}}}{100} \cdot N, \quad (6.7)$$

де $U_{\text{жс}}$ – напруга живлення ($U_{\text{жс}} = 5 \text{ В}$);

N – допустиме відхилення напруги ($N = 15 \%$).

Обчислимо допустиму напругу живлення, за формулою (6.7):

$$U_{\text{дон}} = 5 + \frac{5}{100} \cdot 15 = 5,75 \text{ (В)}.$$

Безпечною робота мережі в умовах дії електромагнітного імпульсу буде у випадку, коли $K_b \geq 40$ (дБ).

Проведемо розрахунок окремо для вертикальних і горизонтальних струмопровідних частин.

Горизонтальна складова напруженості визначається за формулою:

$$E_z = E_v \cdot 10^{-3}, \quad (6.8)$$

де E_v – вертикальна складова напруженості ($E_v = 2,1 \text{ В/м}$).

Підставивши чисельні значення, отримаємо:

$$E_z = 2,1 \cdot 10^{-3} = 0,0021 \text{ (В)}.$$

Максимальні довжини вертикальних і горизонтальних струмопровідних частин в пристроїв відповідно складають $l_v = 0,01 \text{ м}$ і $l_z = 0,03 \text{ м}$. Максимальні напруги наведення у вертикальних (горизонтальних) струмопровідних частинах обчислюються за виразом:

$$U_{v(z)} = E_{z(v)} \cdot l_{v(z)}. \quad (6.9)$$

Розрахуємо максимальні напруги наведення за формулою (6.9):

$$U_e = 0,0021 \cdot 0,01 = 0,000021 \text{ (В)},$$

$$U_z = 2,1 \cdot 0,03 = 0,063 \text{ (В)}.$$

Обчислимо коефіцієнти безпеки за кожною з напруг наведення:

$$K_{\sigma(e)} = 20 \lg \frac{5,75}{0,000021} \approx 143 \text{ (дБ)},$$

$$K_{\sigma(z)} = 20 \lg \frac{5,75}{0,063} \approx 45,4 \text{ (дБ)}.$$

Оскільки значення коефіцієнтів безпеки за вертикальною і горизонтальною напругами наведення відповідають критеріям стійкості, то додаткові засоби захисту мережі від дії електромагнітного імпульсу не застосовуються.

6.3.3 Розробка заходів захисту безпроводної мережі від дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

Характер дії іонізуючих випромінювань на елементну базу електронних пристроїв та систем розглянуто в першому підрозділі. Оскільки стовідсотково запобігти можливість їх впливу на обладнання неможливо, то необхідним є введення в дію заходів захисту, які якщо не усунуть можливі наслідки взагалі, то принаймні зменшать їх масштаби.

Ефективним заходом захисту електронної техніки від іонізуючих випромінювань може стати екранування покриттями чи безпосередньо різними екранами, що екранують високочастотні і низькочастотні випромінювання

працюючих вузлів і блоків, оскільки практично всі матеріали мають певну поглинальну здатність при дії радіації. Ці ж заходи можуть бути ефективними і для захисту від дії електромагнітного імпульсу.

Найбільш ефективним заходом захисту від впливу іонізуючих випромінювань є розміщення апаратури в захисних або спеціально пристосованих спорудах з великим коефіцієнтом ослаблення $K_{осл}$. Крім того, в сучасній апаратурі зв'язку необхідно використовувати радіаційно-стійкі елементи і схеми, не критичні або малокритичні до появи додаткових струмів, що виникають в результаті іонізації елементів схем РЕА, застосовувати екранування апаратури та її елементів. Для захисту від ІВ краще застосувати радіаційно-стійку елементну базу. Також доцільно здійснити захист фольгуванням основних електронних елементів, що дасть додатково збільшення $K_{осл}$ мінімум в 3 рази.

Крім того, для захисту мережі для прийому відеосигналів можна взяти такі заходи:

- використання в апаратурі стійких до радіації елементів і матеріалів;
- використання різних загальних екранів за рахунок будівельних конструкцій та оздоблення;
- використання схем малочутливих до зміни електричних параметрів;
- зменшення чутливості перемикальних схем до зміни вхідних сигналів і напруг джерел живлення;
- зниження напруги живлення до мінімально необхідної для функціонування приладу;
- використання пристроїв та елементів схем, що вимикають радіотехнічні схеми на час дії радіації або стрибків напруги, яка може також бути наведена електромагнітним імпульсом;
- збільшення відстані між елементами, які знаходяться під навантаженням, або додаткова їх ізоляція і зменшення довжини струмопровідних частин обладнання та ін..

Також, для мінімізації впливу електромагнітного імпульсу слід розмістити плату вертикально, зменшивши напруженість в 1000 разів, що допоможе уникнути руйнівної дії на пристрої безпроводної мережі.

Найбільш ефективним заходом підвищення стійкості апаратури є екранування. Тому проведемо розрахунок захисного екрану:

1. Визначимо перехідне гасіння енергії електромагнітного поля екраном (А, дБ). У якості матеріалу для виготовлення екрану використаємо сталь:

$$A_{\text{екр}} = K_{\text{Б}} - K_{\text{Б. РОЗР.}},$$

$$A_{\text{екв}} = 40 + 60 = 100 \text{ (дБ)}.$$

2. Розрахуємо товщину стінки екрану ($f = 15 \text{ кГц}$):

$$t = A_{\text{екв}} / (5,2 \cdot \sqrt{f}),$$

$$t = 100 / (5,27 \cdot \sqrt{15000}) = 0,155 \text{ (мм)}.$$

Отже, під час виконання даного розділу було опрацьовано такі питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях: технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, розрахунок безпечної відстані від джерела ЕМІ, технічні рішення з безпеки праці при проведенні робіт, безпека в надзвичайних ситуаціях. Після використання екрану $K_{\text{БВІ}}$ і $K_{\text{БГІ}} > 40 \text{ дБ}$, отже апаратура безпроводної мережі є стійкою до дії ЕМІ.

Висновки до розділу 6

Під час написання даного розділу було опрацьовано такі питання охорони праці і безпеки в надзвичайних ситуаціях, як технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, визначення ефективності екранування від ЕМВ суцільним екраном, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки при проведенні дослідження ефективності безпроводних мереж стандарту 802.11, безпека у надзвичайних ситуаціях.

ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі виконаний аналіз та дослідження методів підвищення ефективності технології MIMO в стандарті 802.11ac, а також на основі цієї технології розроблена структурна схема для побудови безпроводної мережі в багатоквартирному будинку. В ході роботи дослідили методи, які дозволяють збільшити пропускну здатність і відповідно швидкість передачі інформації в стандарті IEEE 802.11ac. Таким чином це досягається шляхом:

- збільшення смуги пропускання каналу до 80/160 МГц, що дозволяє збільшити в два і чотири рази швидкість передачі порівняно з попереднім стандартом 802.11n;
- збільшення максимального числа потоків (Spatial Streams) до 8, що дозволяє збільшити швидкість передачі інформації вдвічі;
- використання модуляції 256-QAM з ефективністю кодування 3/4 та 5/6, а це в свою чергу дозволяє збільшити швидкість передачі;
- використання MU-MIMO – (Multi-user MIMO – багатокористувацького доступу MIMO) і алгоритму STA (Spanning Tree Algorithm – алгоритму покривного/зв'язуючого дерева мережі) при роботі з однією чи декількома антенами, що дозволяє приймати або передавати одночасно кілька незалежних потоків даних;
- використання SDMA - Space Division Multiple Access - множинного доступу з просторовим розділенням каналів, при якому потоки розділені не за частотою, а в просторі, аналогічно MIMO в стандарті 802.11n
- використання спадного (downlink) потоку MU-MIMO (один передавальний пристрій, кілька приймальних пристроїв) як додаткового.

Крім збільшення швидкості передачі інформації у стандарті 802.11 існує два ключових поліпшення:

1. Можливість динамічно змінювати діаграму спрямованості антен (Beamforming), що реально для антенної решітки 8 елементами. В ідеалі це означає, що зона покриття точки доступу оптимально підлаштовується під

поточне розташування клієнтів. Технологія «Beamforming» вводиться для досягнення максимального ефекту при використанні технології MU-MIMO.

2. Використання технології MU-MIMO дозволяє в повній мірі задіяти канал зв'язку і забезпечити можливість паралельної роботи декількох клієнтів. В існуючих мережах Wi-Fi зв'язок здійснюється в напів-дуплексному режимі. В той час, як один клієнт передає дані інші можуть тільки приймати сигнал. Пакети передаються послідовно - в один момент часу передається один пакет.

З огляду на вищенаведені методи для підвищення ефективності технології MIMO стандарту 802.11ac була спроектована структурна схема для побудови безпроводної мережі у будинку за допомогою технології MU-MIMO та «Beamforming», а також виконувались розрахунки параметрів антени, кількості точок доступу, втрати сигналу, радіусу дії сигналу і швидкості передачі. Розрахунки показали, що необхідне встановлення 2 точок доступу для забезпечення роботи 150 користувачам на 3 поверхах з мінімальною швидкістю 70 Мбіт/с. Тому для 9 поверхів, як і припускалось, вистачить 6 точок доступу. При цьому, вибрана точка доступу дозволить передавати дані на відстань 1,522 (км) зі швидкістю 108,864 (Мбіт/с). А результати моделювання показали ефективність використання антени MIMO в порівнянні з антеною SISO.

В економічній частині магістерської кваліфікаційної роботи виконано обґрунтування економічної доцільності розробки і побудови безпроводної мережі з підвищеною ефективністю технології MIMO стандарту 802.11. А саме: в першому підрозділі виконана оцінка комерційного потенціалу розробки. Виходячи з розрахунків, розробка забезпечує вище середнього рівня комерційного потенціалу. В другому підрозділі виконували прогнозування витрат на виконання науково-дослідної, дослідно-конструкторської та конструкторсько-технологічної роботи. Загальні витрати на виконання та впровадження результатів наукової роботи склали 38 000 грн. У третьому підрозділі кількісно спрогнозували, яку вигоду/зиск можна отримати у майбутньому від впровадження результатів виконаної наукової роботи. Для розробки проекту та впровадження результатів розробки необхідно близько 1

року. Позитивний результат прогнозується впродовж 3 років після впровадження проекту, і за рахунок покращених характеристик, технології антени МІМО у порівнянні з аналогами, що існують на ринку, актуальність нова розробка буде мати вже впродовж року. У четвертому підрозділі виконаний розрахунок ефективності вкладених інвестицій. Так як абсолютна ефективність вкладених інвестицій більша за мінімальну (бар'єрну) ставку дисконтування, яка визначає ту мінімальну дохідність, нижче за яку інвестиції вкладатися не будуть, то інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки. Термін окупності є меншим одного року, тому фінансування даної наукової розробки є доцільним.

Під час написання розділу з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях було опрацьовано такі питання охорони праці і безпеки в надзвичайних ситуаціях, як технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, визначення ефективності екранування від ЕМВ суцільним екраном, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки при проведенні дослідження ефективності безпроводних мереж стандарту 802.11, безпека у надзвичайних ситуаціях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. «Системы МІМО: принципы построения и обработка сигналов» / Слюсар В. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, №8, 2005.
2. МІМО - Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/МІМО>. – Назва з екрану.
3. «Широкополосные беспроводные сети передачи информации»/ Вишневикий В.М. [та ін.]. - М.: Техносфера, 2005.592 с.
4. «Беспроводные линии связи и сети» : пер. с англ. / В. Столлингс. - М. : Издательский дом «Вильямс», 2003. – 640 с.
5. «Современные технологии беспроводной связи»/ Шахнович И. - Изд. второе, М.: Технология, 2006. – 288с.
6. IEEE 802.11 – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11
7. IEEE Std 802.11, 1999 Edition (Reaff 2003), Information technology— Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks—Specific requirements—Specifications
8. IEEE Std 802.11a-1999 (Reaff 2003), Supplement to IEEE Standard for Information technology— Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks— Specific requirements.
9. IEEE Std 802.11b-1999, Supplement to IEEE Standard for Information technology— Telecommunications and information exchange between systems— Local and metropolitan Огляди Вісник Національного технічного університету України "КПІ" 181 Серія – Радіотехніка. Радіоапаратобудування.-2010.-№41 area networks— Specific requirements.
10. IEEE Std 802.11g-2004, IEEE Standard for Information technology— Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks—Specific requirements— Specifications.

11. IEEE Std 802.11i-2004, IEEE Standard for Information technology—Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks—Specific requirements

12. «Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11» / Педжман Р., Джонатан Л. - М.: Вильямс, 2004 – 304 с.

13. Основные особенности технологии 802.11ac – Режим доступа: <http://wi-life.ru/stati/wi-fi/tehnicheskie-statii/main-benefits-802-11ac-technology> - Назва з екрану.

14. «Особенности стандарта беспроводной связи IEEE 802.11ac (WiFi)» / Макаренко В. - ЭКИС – Киев: VD MAIS, 2012, № 7.

15. Wi-Fi смуги частот і каналів – Режим доступа: <http://wilife.ru/tehnologii/wi-fi/wi-fi-frequency-bands-and-channels> – Назва з екрану.

16. Основные особенности – Режим доступа: <http://wifi.kz/articles/osnovnye-osobennosti-802-11ac/> - Назва з екрану.

17. 802.11ac: beamforming и MU-MIMO – Режим доступа: <http://twistedminds.ru/2015/05/802-11ac-beamforming-mu-mimo/> - Назва з екрану.

18. 802.11ac: The Fifth Generation of Wi-Fi Technical White Paper – Режим доступа: https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-3600series/white_paper_c11-713103.html – Назва з екрану.

19. A base station switching on-off algorithm using traditional MIMO and spatial modulation – Режим доступа: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6708091/> - Назва з екрану.

20. Свободная энциклопедия «Википедия» – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi> (21.10.2010). – Назва з екрану.

21. Аспекты реализации стандарта IEEE 802.11ac – Режим доступа: <http://asp24.com.ua/blog/aspekty-realizacii-standarta-ieee-802-11ac/> - Назва з екрану.

22. Особенности стандарта беспроводной связи IEEE 802.11ac (Wi-Fi) – Режим доступа: http://www.ekis.kiev.ua/UserFiles/Image/pdfArticles/V.Makarenko_STANDARD%20IEEE%20802.11ac%20%28WiFi%29_EKIS_7_2012-3.pdf – Назва з екрану.
23. « Rayleigh fading Channels in mobile digital communication systems» / В. Sklar. – Р. : Prentice-Hall, Sept. 2000. – 146 pp.
24. Ipass wifi-growth-map Режим доступа: <https://www.ipass.com/wifigrowth-map/> - Назва з екрану.
25. MU-MIMO - Режим доступа: <http://habrahabr.ru/post/132247>. - Назва з екрану.
26. Пропускная способность MIMO – систем – Режим доступа: <http://siblec.ru/index.php?dn=html&way=bW9kL2h0bWwvY29udGVudC84c2VtLzA3NS8zLTIiMi5odG0=> - Назва з екрану.
27. Технология передачи данных MIMO в беспроводных сетях WIFI – Режим доступа: http://www.getwifi.ru/p_mimo.html - Назва з екрану.
28. SU-MIMO vs. MU-MIMO – Режим доступа: <https://blogs.umass.edu/Techbytes/2017/01/19/su-mimo-vs-mu-mimo/> - Назва з екрану.
29. «802.11ac: The Fifth Generation of Wi-Fi» / Cisco - Technical White Paper, August 2012.
30. Beamforming in 802.11ac. - Режим доступа: [/http://chimera.labs.oreilly.com/books/123400_0001739/ch04.html](http://chimera.labs.oreilly.com/books/123400_0001739/ch04.html). - Назва з екрану.
31. 802.11ac in - depth. - Режим доступа: http://standards.ieee.org/news/2014/ieee_802_11ac_ballot.html. - Назва з екрану.
32. Tp link archer c9 – Режим доступа: https://rozetka.com.ua/tr_link_archer_c9 – Назва з екрану.
33. DWS-4026 Режим доступа: http://www.dlink.ru/ru/products/1/1305_b.html - Назва з екрану.
34. Методичні вказівки до виконання студентами-магістрантами економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. В. О. Козловський – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 22 с.

35. Козловський В. О. Техніко-економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах та роботах. Навчальний посібник / В. О. Козловський – Вінниця : ВНТУ, 2003. – 75 с.
36. Козловський В. О. Економіка, організація виробництва та менеджмент в дипломних роботах. Навчальний посібник / В. О. Козловський – Вінниця : ВНТУ, 2004. – 94 с.
37. ГОСТ 12.0.003-74.ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
38. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
39. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення.
40. Пособие по расчету и проектированию, естественного, искусственного и совмещенного освещения НИИСФ – М.: Стройиздат. 1985. – 384 с.
41. ДСН 3.3.6-037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
42. ДСН 3.3.6.039 99. Державні санітарні норми виробничої та загальної вібрацій.
43. ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
44. Методичні вказівки до опрацювання розділу “Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях” в дипломних проектах і роботах студентів спеціальностей, що пов’язані з функціональною електронікою, автоматизацією та управлінням / Уклад. О. В. Березюк, М. С. Лемешев. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 64 с.
45. ДНАОП 0.00-1.21-98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. – К. : Держнаглядохоронпраці, 1998. – 382 с.
46. ДБН В.2.5-27-2006. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд.
47. ДБН В.1.1.7-2002. Пожежна безпека об’єктів будівництва.

48. СНиП 2.09.02-85. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений.

49. НАПБ Б.03.001-2004. Типові норми належності вогнегасників.

50. Сакевич В.Ф. Основи розробки питань цивільної оборони в дипломних проектах. – Вінниця: ВДТУ, 2001. – 109 с.

51. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97), МОЗ України. – К., 1997.

52. «Системы МИМО: принципы построения и обработки сигналов»
Режим доступа: http://www.electronics.ru/files/article_pdf/0/article_974_409.pdf -
Назва з екрану

55. Бортник Г.Г., Стальченко О.В. Методичні вказівки до дипломного проектування для студентів спеціальності «Телекомунікаційні системи та мережі» усіх форм навчання.- Вінниця:ВНТУ, 2009.- 54 с.

ДОДАТКИ

ВЕНТУ ФІРМЕН
ТКСТЪ МКР
2019

Додаток А
(обов'язковий)
ВНТУ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав.кафедри ТКСТБ ВНТУ,
канд. техн. наук, професор
Г.Г.Бортник
“ ___ ” _____ 2019 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи
Підвищення ефективності безпроводних мереж стандарту 802.11

08-34.МКР.001.00.000 ТЗ

Керівник роботи
к.т.н., доц. кафедри ТКСТБ ВНТУ
Михалевський Д.В.

Виконавець: ст. гр. АРЗ-18м

Бабич А.В.

1 ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Робота проводиться на підставі наказу ректора по Вінницькому національному технічному університету від “02” 10 2019 року № 254 та індивідуального завдання на магістерську кваліфікаційну роботу.

Дата початку роботи: 02.09.2019 р.

Дата закінчення: 09.12.2019 р.

2 МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР

Метою даної магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності безпроводної мережі стандарту IEEE 802.11.

Задачами магістерської кваліфікаційної роботи є:

- розробка технічного завдання;
- аналіз безпроводного стандарту IEEE 802.11ac Wi-Fi;
- дослідження технології MIMO в стандарті 802.11ac;
- дослідження методів підвищення ефективності технології MIMO в стандарті 802.11ac;
- розробка структурної схеми для побудови безпроводної мережі у багатоповерховому будинку стандарту 802.11ac технології MIMO та відповідно розрахунок основних характеристик;
- виконати моделювання технології MIMO для стандарту 802.11ac;
- провести аналіз питань охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Об'єкт дослідження є методи та засоби підвищення ефективності роботи безпроводних мереж стандарту 802.11.

Предмет дослідження є передача інформації по безпроводному каналі стандарту 802.11 із використанням технологій, що дозволяють підвищити ефективність роботи антени МІМО.

Основними завданнями роботи є:

- техніко-економічне обґрунтування доцільності даної розробки;
- аналіз загальних характеристик технологій бездротового доступу;
- розробка структурної схеми для побудови безпроводної мережі у багатоповерховому будинку стандарту 802.11 ас технології МІМО;
- аналіз економічної ефективності проведеної розробки;
- дослідження питань безпеки життєдіяльності.

Розроблений в ході виконання метод підвищення ефективності безпроводних мереж стандарту IEEE 802.11 дозволить розв'язати протиріччя між підвищенням ефективності даного стандарту і суттєвим розширенням частотного діапазону за рахунок впровадження та застосування новітніх способів оброблення сигналів та сучасної елементної бази.

3 ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ МКР

Робота базується на результатах експериментальних та теоретичних дослідженнях безпроводної мережі стандарту IEEE 802.11, проведенні відповідних розрахунків та моделювань, та опрацюванні відповідних джерел літератури.

Список використаних джерел розробки:

3.1 Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и применение / Бернанд Скляр ; [пер. с англ]. – М.: Изд. Дом “Вильямс”, 2003. – 1104с.

3.2 IEEE 802.11 – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11

3.3 «Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11» / Педжман Р., Джонатан Л. - М.: Вильямс, 2004 – 304 с.

3.4 Технология передачи данных MIMO в беспроводных сетях WIFI – Режим доступа: http://www.getwifi.ru/p_mimo.html - Назва з екрану.

3.5 Положення про кваліфікаційну роботу у Вінницькому національному технічному університеті / Уклад. О. Н. Романюк, Р. Р. Обертюх, Т. О. Савчук, Л. П. Громова – Вінниця : ВНТУ, 2015 – 27 с.

3.6 Кухарчук В.В., Ігнатенко О.Г., Обертюх Р.Р. Методичні вказівки до оформлення дипломних проектів (робіт) для студентів всіх спеціальностей.- В.: ВДТУ, 2002.

3.7 Козловський В.О. Техніко-економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах та роботах. Навчальний посібник. – В.: ВДТУ, 2003.

3.8 ДСТУ 3008-2015. Інформація та документація, звіти у сфері науки і техніки.- К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016.

3.9 Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры. Справочник. Под ред. Э.Т.Романычевой.- М: Радио и связь, 1989.

3.10 Бортник Г.Г., Васильківський М.В. Методичні вказівки до підготовки магістерських кваліфікаційних робіт для студентів спеціальності «Телекомунікації та радіотехніка» усіх форм навчання.- Вінниця:ВНТУ, 2018.- 50 с.

4 ВИКОНАВЕЦЬ

Вінницький національний технічний університет, кафедра телекомунікаційних систем та телебачення, студент групи АРЗ-18м Бабич А.В.

5 ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ МКР

Пропонується виконати дослідження методу підвищення ефективності безпроводної мережі стандарту IEEE 802.11

Технічні вимоги, яким повинна відповідати розробка, наступні:

- Вихідна потужність передавача: 64 дБ;
- Коефіцієнт підсилення антени - 2;
- відношення сигнал/шум – не нижче 60 дБ
- динамічний діапазон вхідних сигналів – до 65 дБ;
- Втрати сигналу передавача 6;

При дослідженні слід максимально використовувати стандартні та уніфіковані деталі.

6 ЕТАПИ МКР І ТЕРМІНИ ЇХ ВИКОНАННЯ

№	Назва та зміст етапу	Термін виконання		Очікувані результати	Звітна документ-тація
		початок	закінчення		
1.	Розробка технічного завдання (ТЗ)	02.09.2019р.	06.09.2019р.	Розроблене ТЗ	Додаток А
2.	Техніко-економічне обґрунтування розробки (ТЕО)	09.09.2019р.	13.09.2019р.	Розроблене ТЕО	Вступ. Розділ 1.
3.	Аналіз загальних характеристик технологій бездротового доступу	16.09.2019р.	04.10.2019р.	Проведений аналіз	Розділ 2
4.	Дослідження технології MIMO в стандарті 802.11	07.10.2019р.	25.10.2019р.	Характеристики і параметри	Розділ 3
5.	Розрахунок параметрів безпроводного каналу стандарту 802.11ac	28.10.2019р.	08.11.2019р.	Проведені розрахунки	Розділ 4
6.	Аналіз економічної ефективності	11.11.2019р.	15.11.2019р.	Економічна частина МКР	Розділ 5

.	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	18.11.2019р.	22.11.2019р.	Частина ОП та БНС	Розділ 6
8.	Оформлення пояснювальної записки (ПЗ) та графічної частини	25.11.2019р.	29.11.2019р.	Оформлена документація	ПЗ та графічна частина
9.	Нормоконтроль, попередній захист, рецензування МКР	02.12. 2019р.	06.12.2019р.	Позитивні відзиви	Відзив. рецензія
10.	Захист МКР ЕК		09.12. 2019р.	Позитивний захист	Протокол ЕК

7 ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОРЯДОК РЕАЛІЗАЦІЇ МКР

В результаті виконання роботи будуть розроблені:

- структура схема для побудови безпроводної мережі;
- модель безпроводної мережі стандарту IEEE 802.11;
- економічна частина МКР;
- розділ ОП та БНС;

Результати, отримані в процесі виконання даної роботи, будуть впроваджені в галузі телекомунікацій:

- Регіональний Центр експлуатації телекомунікаційної мережі України шляхом впровадження використання антен типу МІМО;
- ПАТ “Укртелеком” шляхом впровадження нових методик контролю характеристик безпроводних мереж стандарту IEEE 802.11.

Очікуваний техніко-економічний ефект. При впровадженні результатів досліджень очікується підвищення точності та розширення частотного діапазону безпроводної мережі.

8 МАТЕРІАЛИ, ЯКІ ПОДАЮТЬ ПІСЛЯ ЗАКІНЧЕННЯ РОБОТИ ТА ПІД ЧАС ЕТАПІВ

За результатами виконання МКР до ЕК подаються пояснювальна записка, графічна частина МКР, відзив і рецензія.

9 ПОРЯДОК ПРИЙМАННЯ МКР ТА ЇЇ ЕТАПІВ

Поетапно результати виконання МКР розглядаються керівником роботи та обговорюються на засіданні кафедри.

Захист магістерської кваліфікаційної роботи відбувається на відкритому засіданні ЕК.

10 ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Документація, що розробляється в процесі виконання досліджень повинна містити:

- техніко-економічне обґрунтування розробки;
- аналіз характеристик для покращення ефективності безпроводних мереж;
- економічну частину та розділ БЖД і ЦЗ;
- рекомендації щодо подальшого використання приладу.

11 ВИМОГИ ЩОДО ТЕХНІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ З ОБМЕЖЕНИМ ДОСТУПОМ

У зв'язку з тим, що інформація не є конфіденційною, заходи з її технічного захисту не передбачаються.

Додаток Б
(Обов'язковий)

Варіанти відтворення біт на фазову площину

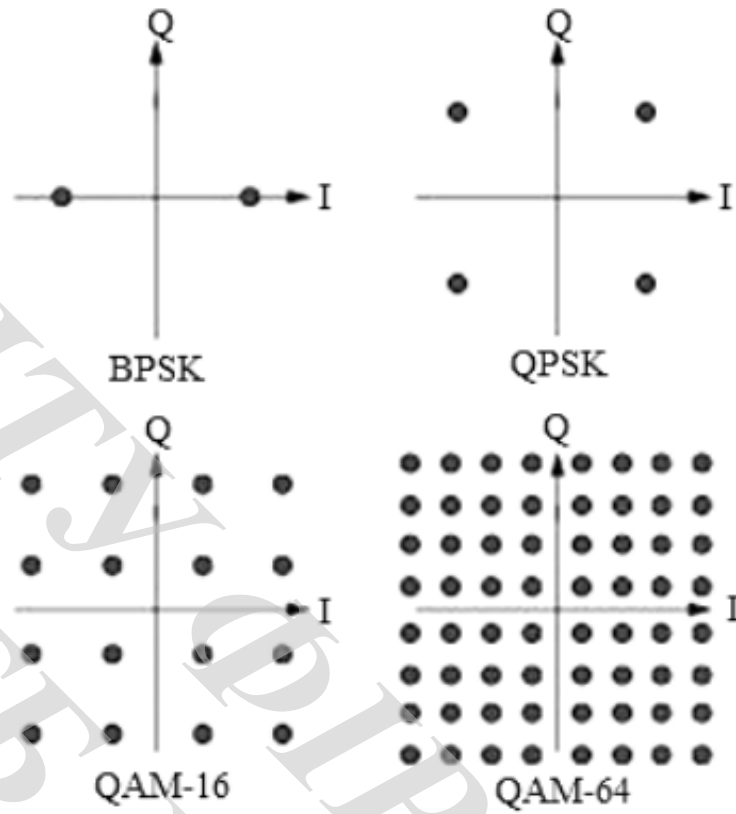


Рисунок 1 – Варіанти відтворення біт на фазову площину

Додаток В
(Обов'язковий)

Формат кадру фізичного рівня IEEE 802.11 при використанні
методу передачі DSSS



Рисунок – Формат кадру фізичного рівня IEEE 802.11 при використанні методу передачі DSSS

Додаток Г
(Обов'язковий)

Структура передавальної частини мобільного апарату стандарту IEEE

802.11ac

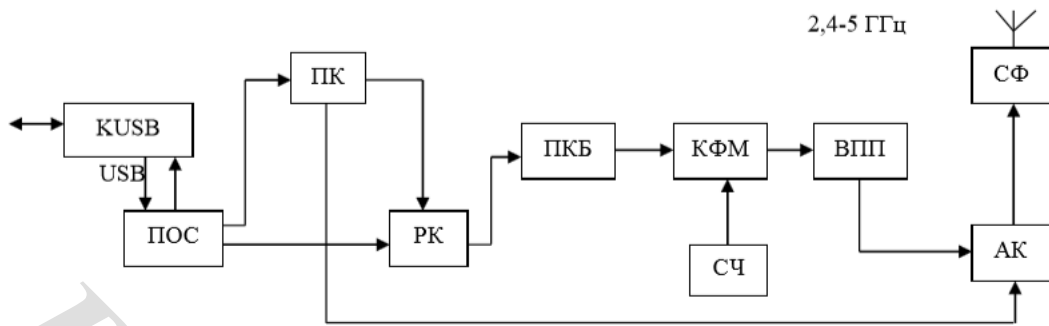


Рисунок – Структура передавальної частини мобільного апарату стандарту IEEE 802.11ac

ВНІТЗ
ТКСТБ ФІРМЕН
МІКР
2019

Додаток Д
(Обов'язковий)

Статистика по кількості хот-спотів у світі



Рисунок – Статистика по кількості хот-спотів у світі

Додаток Е
(Обов'язковий)

Переорієнтація ДН антеною системи МІМО при просторово-частотному
кодуванні

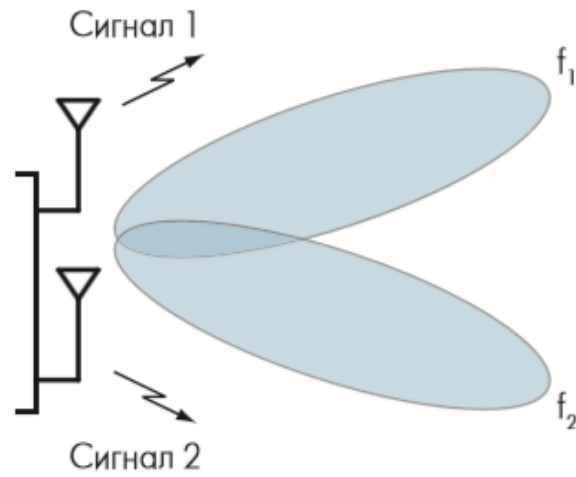


Рисунок - Переорієнтація ДН антеною системи МІМО при просторово-частотному кодуванні

Додаток Є
(Обов'язковий)

Структурна схема безпроводної мережі

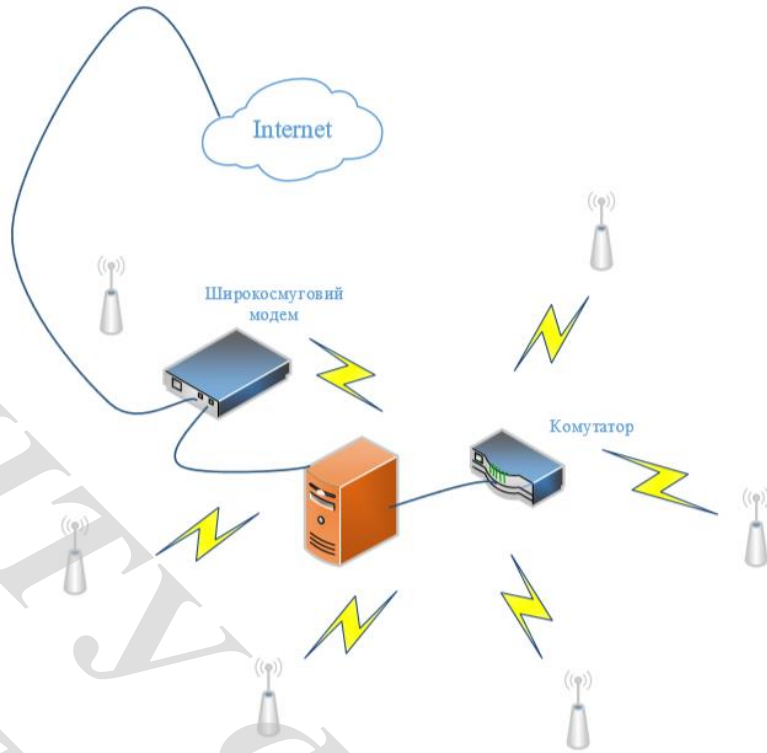


Рисунок – Структурна схема безпроводної мережі