

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Проектування безпроводової локальної мережі на основі стандарту
IEEE 802.11ac»

Виконав: студент 4 курсу, групи 401-ТТ

спеціальності 172 «Телекомунікації

.....та радіотехніка»

шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності

Пугач І.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник Обіход Я.Я.

(прізвище та ініціали)

Рецезент

(прізвище та ініціали)

Полтава – 2021 рік

РЕФЕРАТ

Загальний обсяг текстової частини дипломної роботи складає 60 сторінок формату А4. Вона складається з переліку умовних скорочень, вступу, трьох розділів, висновку та списку використаних джерел. Робота містить 18 рисунків, 2 таблиці, використано 15 науково-технічних джерел.

Дипломна робота бакалавра присвячена вивченню особливостей специфікації 802.11 ас стандарту безпроводових мереж IEEE 802.11.

У першому розділі дипломної роботи розглядаються теоретичні основи функціонування та застосування безпроводових мереж.

У другому розділі розглядаються основні характеристики специфікації 802.11 ас, переваги та недоліки у порівнянні із попередніми специфікаціями.

У третьому розділі розглянуто програмне забезпечення, що застосовується для проектування та аналізу характеристик безпроводових мереж, мережеве обладнання даного стандарту, сформовано перелік рекомендацій для проектування безпроводової мережі специфікації 802.11 ас стандарту безпроводових мереж IEEE 802.11.

Метою даної кваліфікаційної роботи є підвищення якості надання послуг безпроводовою локальною мережею за рахунок вивчення та впровадження стандарту 802.11 ас.

Для вирішення поставленої мети потрібно виконати наступні задачі:

- провести аналіз характеристик сімейства стандартів 802.11;
- провести детальний аналіз стандарту 802.11 ас;
- розглянути існуюче програмне забезпечення для моделювання та налаштування основних параметрів безпроводових локальних мереж;
- розглянути існуюче апаратне забезпечення, що дозволяє створити мережу стандарту 802.11 ас.

Об'єкт дослідження – специфікація стандарту безпроводових локальних мереж 802.11 ac.

Предмет дослідження – методи підвищення якості передачі по безпроводових каналах за рахунок використання сучасних специфікацій стандарту IEEE 802.11.

У процесі дослідження застосовувалися експериментальні програмні дослідження безпроводових каналів.

ABSTRACT

The total volume of the text part of the thesis is 60 A4 pages. It consists of a list of abbreviations, an introduction, three sections, conclusion and a list of sources used. The work contains 18 drawings, 2 tables, 15 scientific and technical sources were used.

The bachelor's thesis is devoted to the study of the features of the 802.11 ac specification of the IEEE 802.11 wireless network standard.

In the first section of the thesis the theoretical bases of application of wireless networks are considered.

The second section discusses the main characteristics of the 802.11 ac specification, advantages and disadvantages compared to previous specifications.

The third section discusses the software used to design and analyze the characteristics of wireless networks, network equipment of this standard, a list of recommendations for the design of a wireless network specification 802.11 ac standard wireless network IEEE 802.11.

The purpose of this qualification work is to improve the quality of wireless LAN by studying and implementing the 802.11 ac standard.

To solve these tasks, need to perform the next steps:

- to analyze the characteristics of the family of standards 802.11;
- to carry out the detailed analysis of the 802.11 ac standard;
- consider existing software to determine and configure the basic parameters of wireless local area networks;
- consider the existing hardware that allows you to create a network of 802.11 ac.

The object of research is the specification of the 802.11 ac wireless LAN standard.

The subject of research are methods to improve the quality of transmission over wireless channels through the use of modern specifications of the IEEE 802.11 standard.

Experimental software studies of wireless channels were used in the research process.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки

Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій

Освітньо-кваліфікаційний рівень Бакалавр

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри автоматки,
електроніки та телекомунікацій**

_____ О.В. Шефер

“ 10 ” травня 2021 р.

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

Пугачу Івану Олександровичу

1. Тема роботи «Проектування безпроводової локальної мережі на основі стандарту IEEE 802.11ac»

керівник роботи Обіход Ярослав Якович, к.т.н., доцент

затверджена наказом вищого навчального закладу від 03.03.2021 року № 158 -фа

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 15.06.2021 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) 802.11ac, 256-QAM, Acrylic WiFi Home.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Обґрунтування необхідності Проектування безпроводової локальної мережі на основі стандарту IEEE 802.11ac. Дослідження загальна характеристика

безпроводових локальних обчислювальних мереж. Технічна реалізація безпроводової локальної мережі стандарту 802.11ac.

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

- 1) Схема Організація доступу до магістральної мережі з виходом в INTERNET-мережу;
- 2) Схематичне зображення Еволюції розвитку стандарту безпроводових мереж IEEE 802.11;
- 3) Схема VHT формат кадру фізичного рівня.

6. Дата видачі завдання 10.05.2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
1	Загальна характеристика безпроводових локальних обчислювальних мереж	18.05.21			
2	Аналіз характеристик сімейства стандартів 802.11	02.06.21			
3	Технічна реалізація безпроводової локальної мережі стандарту 802.11ac	09.06.21			
4	Оформлення кваліфікаційної роботи бакалавра.	15.06.21	II		

Студент _____ Пугач І.О.

(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Обіход Я.Я.

(підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	10
ВСТУП.....	11
1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА БЕЗПРОВОДОВИХ ЛОКАЛЬНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ МЕРЕЖ.....	13
1.1 Поняття комп'ютерної мережі. Основні поняття та терміни.....	13
1.2 Історичні аспекти становлення WLAN.....	16
1.3 Фактори, що визначають архітектуру WLAN.....	17
1.4 Елементи архітектури WLAN.....	19
1.5 Висновок до розділу 1.....	22
2 АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК СІМЕЙСТВА СТАНДАРТІВ 802.11.....	24
2.1 Еволюція розвитку стандарту IEEE 802.11.....	24
2.2 Специфікація 802.11ac.....	28
2.2.1 Застосування MU-MIMO.....	28
2.2.2 Діапазон робочих частот для 802.11ac.....	31
2.2.3 PHY-Level Framing.....	33
2.2.4 256-QAM модуляція.....	35
2.2.5 Енергоспоживання.....	38
2.2.6 Wave1 та Wave2 специфікації 802.11ac.....	38
2.3 Безпека WLAN стандарту 802.11ac.....	39
2.4 Висновки до розділу 2.....	42
3 ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ БЕЗПРОВОДОВОЇ ЛОКАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ СТАНДАРТУ 802.11ac.....	44
3.1 Види конфігурацій мереж Wi-Fi.....	44
3.2 Аналіз і опис існуючих програм для роботи з безпроводовими мережами.....	48

3.2.1 Ekahau Heat Mapper.....	48
3.3.2 Acrylic WiFi Home.....	49
3.3 Вибір безпроводової точки доступу.....	51
3.4 Узагальнені рекомендації щодо проектування та побудови безпроводової мережі стандарту 802.11ac.....	57
3.5 Висновок за розділом 3.....	58
ВИСНОВОК.....	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	61
ДОДАТОК А GENERAL CHARACTERISTICS OF WIRELESS LOCAL COMPUTER NETWORKS.....	63
ДОДАТОК Б ДЕМОНСТРАЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ.....	73

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

AP – Access Point

BSSID – Basic Service Set Identification

CN – Computer Network

CSMA/CD – Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers

LAN – Local Area Network

MAC – Media Access Control

MIMO – Multiple Input – Multiple Output

OFDM – Orthogonal Frequency-Division Multiplexing

P2MP – Point to Multipoint

POE – Power over Ethernet

P2P – Point to Point

QAM – Quadrature Amplitude Modulation

QOS – Quality of Service

SSID – Service Set Identification

WEP – Wired Equivalency Protocol

WI-FI – Wireless Fidelity

WLAN – Wireless Local Area Network

WPA – Wi-Fi Protected Access

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку інфокомунікаційних мереж спостерігається інтенсивне впровадження та використання безпроводових мереж, як в Україні, так і у світі, що обумовлено прагненням користувачів отримувати якісні послуги не маючи територіальних обмежень у порівнянні з проводовими мережами.

Незважаючи на гнучкість і значні переваги безпроводових мереж, їм також властиві деякі обмеження і ризики.

По-перше, в технологіях безпроводових мереж використовуються неліцензовані області радіочастотного спектру. Оскільки ці області діапазону не регламентуються, їх експлуатують безліч різних пристроїв. Це призводить до переповнення областей спектру і появи взаємних перешкод, що погіршує якість надання послуг користувачам. [8]

По-друге, інтенсивне зростання кількості безпроводових мереж, також приводить до виникнення ряду негативних факторів, які можуть суттєво погіршити передавальні характеристики безпроводових каналів передачі (поява затримок та помилок під час отримання доступу до послуг із великим об'ємом трафіку).

Інша проблема безпроводового зв'язку – безпека. Доступ в безпроводові мережі відкритий. Кожен може отримати доступ до даних, що передаються в сеансі широкотрансляційного розсилання. При цьому рівень захисту даних в безпроводовій мережі також обмежений. Кожен може перехоплювати потоки даних навіть ненавмисно. Для забезпечення безпеки даних в безпроводових мережах було розроблено ряд методів, таких як шифрування і автентифікація.[8]

Розробки та вдосконалення, що необхідні для вирішення цих питань регламентуються робочою групою 802.11 та відповідним переліком специфікацій стандарту IEEE 802.11.

Тому, актуальним є вивчення нових стандартів безпроводових локальних мереж, з метою покращення якості надання послуг користувачам.

Практичне значення проведених у кваліфікаційній роботі досліджень полягає у створенні рекомендацій для побудови безпроводової локальної мережі стандарту 802.11 ас з метою підвищення ефективності роботи мережі та покращення якості послуг для користувачів мережі.

Крім того, результати роботи можна використовувати в навчальному процесі.

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА БЕЗПРОВОДОВИХ ЛОКАЛЬНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ МЕРЕЖ

1.1 Поняття комп'ютерної мережі. Основні поняття та терміни

Комп'ютерна мережа (КМ, від англ. computer network, CN) – система зв'язку між двома чи більше комп'ютерами. У більш ширшому розумінні комп'ютерна мережа – це система зв'язку через кабельне чи безпроводове середовище, що має у своєму складі комп'ютери різного функціонального призначення і мережеве обладнання.

Для передачі інформації можуть бути використані різні фізичні явища, як правило – різні види електричних сигналів чи електромагнітного випромінювання. Середовищами передавання у комп'ютерних мережах можуть бути телефонні кабелі та спеціальні мережеві кабелі: коаксіальні кабелі, виті пари, волоконно-оптичні кабелі, радіохвилі, світлові сигнали. [1]

CN, яка називається також обчислювальною мережею або мережею передачі даних, є результатом об'єднання двох найважливіших науково-технічних галузей сучасної цивілізації – комп'ютерних і телекомунікаційних технологій.

З одного боку, CN є окремою складовою розподілених обчислювальних систем, в яких група комп'ютерів узгоджено виконує набір взаємопов'язаних завдань, обмінюючись даними в автоматичному режимі.

З іншого боку, CN може розглядатися як засіб передачі інформації на великі відстані, із застосуванням методів кодування і мультиплексування даних, що використовуються в різних телекомунікаційних системах.[2]

Отже,

✓ комп'ютерна мережа – це набір комп'ютерів, пов'язаних комунікаційною системою і забезпечених відповідним програмним забезпеченням, яке надає користувачам мережі доступ до ресурсів цього набору комп'ютерів;

✓ мережу можуть утворювати комп'ютери різних типів – невеликі мікропроцесори, робочі станції, міні-комп'ютери, персональні комп'ютери або суперкомп'ютери;

✓ передачу повідомлень між будь-якою парою комп'ютерів мережі забезпечує комунікаційна система, яка може включати кабелі, повторювачі, комутатори, маршрутизатори та інші мережеві пристрої;

✓ комп'ютерна мережа дозволяє користувачеві працювати зі своїм комп'ютером, як з автономним, і додає до цього можливість доступу до інформаційних і апаратних ресурсів інших комп'ютерів мережі [2].

Комп'ютерні мережі можна класифікувати за територіальним призначенням, при цьому розрізняють глобальні, локальні та міські мережі.

Локальна обчислювальна мережа (ЛОМ, від англ. Local Area Network, LAN) – комп'ютерна мережа, що розгортається, зазвичай, на відносно невеликій території або включає невелику групу будівель (будинок, офіс, фірму, інститут) [1].

Перелік типових ознак LAN, включає обмеженість числа абонентів мережі, обмеженість території, в межах якої розподілені абоненти, і наявність телекомунікаційної лінії зв'язку між абонентами (вузлами).

З набуттям сучасними LAN якісно нових властивостей, в порівнянні з їх початковим призначенням, в них відбулися зміни топології комунікаційних ліній (в порівнянні з топологією типу «шина»); зміни типу вузлів мережі (поряд з комп'ютерами, вузлами мережі можуть бути пристрої з різними видами цифрового контенту: відео, графіки, телефонії та ін.); введення взаємозв'язку між LAN (включаючи всі її вузли) і магістральною мережею, яка використовується для взаємного з'єднання мереж різного призначення (зокрема, іншими LAN) провідним та безпроводовим способом.

Безпроводові LAN (*Wireless LAN – WLAN*) відрізняються від проводових тим, що взаємозв'язок між вузлами мережі здійснюється за допомогою використання радіосигналів. До складу вузлів входять передаючі і приймаючі пристрої. Середовище, в якому розміщені вузли, є середовищем поширення радіосигналів.

Актуальність і доцільність застосування безпроводових LAN можна охарактеризувати наступним чином:

1) необхідність створення LAN між вузлами, що розділені природними і штучними перешкодами (наприклад, водні перешкоди, стіни будинків, міжповерхові перекриття);

2) необхідність забезпечення мобільності вузлів, об'єднаних в локальну мережу;

3) необхідність отримання доступу до магістральної мережі з виходом в Internet-мережу в громадських місцях короткочасного перебування (готелі, вокзали, читальні зали бібліотек та ін.) (рис.1.1) [3].



Рисунок 1.1 – Організація доступу до магістральної мережі з виходом в Internet-мережу

1.2 Історичні аспекти становлення WLAN

Споживчий попит на застосування WLAN прогнозувався в усіх промислово-розвинених країнах з широким використанням персональних комп'ютерів (ПК), починаючи з початку 70-х років минулого століття.

Об'єктивна потреба в забезпеченні сумісності апаратури WLAN різних виробників привела до необхідності розробок відповідних стандартів, які одночасно проводилися установами стандартизації трьох регіонів:

- 1) в США – Інститутом інженерів електротехніки та електроніки (*Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE*);
- 2) в Європі – Європейським інститутом стандартів електрозв'язку (*European Telecommunications Standards Institute, ETSI*);
- 3) в Японії – Асоціацією радіопромисловості і бізнесу (*Association of Radio Industries and Business, ARIB*).

Найбільшу популярність здобули стандарти, розроблені під егідою IEEE і ETSI [3].

Стандарти WLAN, розроблені IEEE, створювалися робочою групою (Work Group, WG) 802.11 комітету 802, відповідального за стандартизацію в сфері локальних (LAN) і міських (MAN) мереж (802 LAN/MAN Standards Committee). В рамках комітету IEEE 802 робоча група WG 802.11 займається розробкою стандартів WLAN, і відповідні стандарти відомі як стандарти IEEE 802.11. Вихідний (базовий) стандарт IEEE 802.11 був прийнятий в 1987 році. Надалі він безперервно вдосконалюється, чому відповідають версії з різними літерними позначеннями – від *a* до *x*.

Стандарти WLAN, розроблені ETSI, відомі під найменуванням HIPERLAN (*High Performance Radio LAN*). Розробка цих стандартів проводилася практично одночасно зі стандартом IEEE 802.11 (з річним випередженням). Спочатку

передбачалася розробка 4 версій цих стандартів, але обмежилися двома версіями: HIPERLAN 1 і HIPERLAN 2. Згідно із задумом передбачалося, що WLAN стандартів HIPERLAN, при рівноцінному зі стандартом IEEE 802.11 використанні частотного ресурсу, повинні володіти більш високими показниками по швидкості передачі даних. Підтримка розробки стандартів здійснювалася відомими виробниками апаратури, зокрема, фірмою Ericsson.

Однак процес практичного впровадження WLAN (з урахуванням сучасного стану ринку) привів до необхідності вибору як розробниками, так і органами стандартизації тільки одного з напрямків розвитку безпроводових мережевих технологій. Цим напрямком виявилися мережі сімейства стандартів IEEE 802.11.

Стандарту IEEE 802.11 відповідає обладнання асоціації WECA (*Wireless Ethernet Compatibility Alliance*), відомої своїм поширеним брендом Wi-Fi Alliance. Роль цієї Асоціації полягає в розробці системи сертифікації виробів стандарту IEEE 802.11, завдяки чому вони відомі як Wi-Fi вироби. Аналогічні асоціації виробників виробів стандартів HIPERLAN: HIPERLAN Alliance і HIPERLAN2 Global Forum у даний час менш активні. Проте ймовірно, що повне заперечення деяких переваг, властивих HIPERLAN, було б недоцільним і можливість їх подальшого використання не виключається [3].

1.3 Фактори, що визначають архітектуру WLAN

Відмінність архітектури безпроводових і проводових LAN обумовлені властивостями середовища розповсюдження сигналів:

- ✓ спрямовуюче середовище в провідних LAN;
- ✓ природне навколишнє середовище в безпроводових LAN.

Спільною рисою застосування проводових та безпроводових середовищ є те, що вони є середовищами загального/множинного (*Multiple Access, MA*) доступу.

Сигнали різних абонентів в умовах їх незалежної роботи можуть передаватися одночасно, що призводить до суперпозиції сигналів в середовищі.

Це явище істотно ускладнює можливість їх правильного прийому. У середовищі загального доступу, незалежно від його фізичних властивостей, може мати місце колізія сигналів. Уникнення колізій передбачає узгоджене використання середовища, обов'язковою складовою якого є спостереження за його зайнятістю. Доступ до середовища розповсюдження сигналів, заснований на спостереженні за його зайнятістю, отримав назву множинного доступу з контролем несучої (*Carrier Sense Multiple Access, CSMA*). В LAN (проводових та безпроводових) застосовується кілька похідних варіантів цього метода доступу.

Доступ вузлів до середовища розповсюдження сигналів обох типів здійснюється за допомогою мережевих адаптерів (*Network Interface Card, NIC, Wireless Network Interface Card, WNIC*), які виконують функції двох нижніх рівнів базової еталонної моделі взаємодії відкритих систем ISO/OSI, а саме:

- ✓ фізичного рівня (*Physical Layer, PHY*);
- ✓ канального рівня (*Data Link Layer, DLL*) – на якому здійснюється управління доступом до середовища (*Media Access Control, MAC*).

Мережеві адаптери забезпечують спостереження за середовищем, узгоджений доступ різних вузлів до неї, формування, передачу і прийом сигналів.

У провідному середовищі, що представляє собою двохпровідну довгу лінію, наприклад, кабель, передача сигналів між вузлами супроводжується відносно слабким загасанням в процесі їх поширення. Колізія сигналів двох (або більше) вузлів призводить до істотної зміни характеристик сумарного сигналу (перш за все, енергетичного рівня), в порівнянні з поодинокими сигналами. Відповідно, кожен вузол з допомогою NIC може виявити факт колізії сигналів в процесі їх передачі та вжити заходів щодо забезпечення черговості доступу до середовища різних вузлів. Метод упорядкованого множинного доступу, що забезпечує зменшення рівня колізій в провідних середовищах, отримав назву множинного

доступу з контролем несучої і виявленням колізій (*CSMA/Collision Detection, CSMA/CD*). Можливість виявлення колізій є іманентною властивістю провідних середовищ.

У безпроводному середовищі, що представляє собою навколишній простір з його природним і штучним заповненням, сигнали поширюються, затухаючи в міру віддалення від джерела. Колізії можуть бути виявлені за результатами перевірки наявності помилок в прийнятому і обробленому WNIC цифровому сигналі після завершення його передачі. Відповідно, реакція на факт колізії може бути здійснена при цьому із запізненням, і суттєвої необхідністю стає запобігання колізій. Відповідний метод множинного доступу до безпроводового середовища був розроблений в рамках підготовки стандарту IEEE 802.11. Він отримав назву методу множинного доступу з контролем несучої і запобіганням колізій (*CSMA/Collision Avoidance, CSMA/CA*). [3]

1.4 Елементи архітектури WLAN

Перелік основних елементів архітектури WLAN включає базові службові набори, портали і систему розподілу. Структура і зміст функцій, які виконуються перерахованими елементами, зводиться до наступного.

1. Базові службові набори (*Basic Service Set, BSS*) – безпроводові компоненти LAN, що забезпечують взаємодію їх вузлів між собою і з іншими вузлами LAN за допомогою передачі сигналів електромагнітними хвилями. Структурними складовими частинами BSS є станції (*Station, STA*) і точки доступу (*Access Point, AP*).

STA BSS являють собою сукупність вузлів мережі і безпроводових мережевих адаптерів. Під вузлом мережі мається на увазі будь-який пристрій, що є джерелом пакетних повідомлень (комп'ютер, цифровий телефон та ін.). WNIC

забезпечує прийом і передачу радіосигналів (PHY-рівень), а також виконання функцій контролера MAC-рівня.

AP BSS являє собою пристрій (entity), що володіє властивостями STA і забезпечує виконання двох функцій: координацію доступу станцій BSS до загального безпроводового середовища і доступ станцій BSS до системи розподілу.

Необхідність координації роботи станцій BSS обумовлена використанням ними загального частотно-територіального ресурсу. Площа, в межах якої забезпечується зв'язок між станціями BSS, носить найменування базової зони обслуговування (*Basic Service Area, BSA*). Усі станції BSS використовують для обміну радіосигналами одну загальну смугу частот і колізії радіосигналів різних станцій призводять до шкідливих взаємних перешкод, що виключає можливість одночасного зв'язку декількох станцій. Зв'язок між станціями BSS здійснюється в напівдуплексному режимі з ретрансляцією сигналів (по аналогії з радіорелейним зв'язком) різних STA. Сукупність функцій, які виконуються STA і AP, щодо забезпечення передачі повідомлень в межах BSS, носить найменування станційної служби (*Station Service, SS*).

У разі, якщо BSS є автономною, AP може забезпечувати безпосередній доступ до магістральної мережі *Internet*. З цією метою промислові зразки AP мають в комплекті маршрутизатор. [3]

2. Система розподілу (*Distribution System, DS*) є елементом мережі, що забезпечує передачу повідомлень між різними BSS, а також між BSS та проводовими LAN, що входять в мережу. Середовище, яким забезпечується передача повідомлень між сегментами мережі (проводовим і безпроводовими), має назву середовища системи розподілу (*Distribution System Medium, DSM*). Сукупність функцій, які виконуються DS, називаються службою системи розподілу (*Distribution System Service, DSS*). Станційні служби SS і DSS спільно забезпечують можливість передачі повідомлень між STA, що входять в різні

сегменти LAN. Суттєва риса передачі повідомлень за допомогою DS полягає в тому, що протоколи передачі є протоколами MAC-рівня, завдяки чому станції різних BSS і провідних сегментів взаємодіють між собою, не виходячи за межі цього рівня.

Середовище систем розподілу цифрових мереж, які розташовуються усередині будівель, як правило, провідне. Середовище розподілу мереж LAN, які об'єднують сегменти, роз'єднано-розташовані на великій території установ (наприклад, підприємства), може бути безпроводовим. Стандарт IEEE 802.11 не має обмежень на способи реалізації DSM, а також на перелік функцій стека протоколів ISO/SI, які можуть бути використані. Зокрема, ці функції можуть виходити за межі 2-го (канального) рівня і охоплювати 3-й (мережевий) рівень. Останнє відповідає взаємозв'язку LAN з глобальними мережами (*Wide Area Network, WAN*), зокрема, мережею *Internet* (в даному випадку може використовуватися роутер). Створення інтерфейсу між DS і WAN відповідає одному з найбільш поширених застосувань Wi-Fi – WLAN – створення «гарячих точок». [3]

3. Портالي представляють собою елементи мережі, за допомогою яких до DS підключаються провідні сегменти мережі, що функціонують відповідно до вимог стандартів провідних LAN (наприклад, IEEE 802.3 – *Ethernet*). За допомогою порталів забезпечується передача повідомлень між безпроводовими і проводовими сегментами мережі відповідно до протоколів MAC-рівня. Підключення вузлів провідних сегментів до DS за допомогою порталів називається їх інтеграцією в мережу. Завдяки передачі повідомлень відповідно до протоколів одного рівня (MAC-рівня) вузли всіх сегментів мережі, проводових і безпроводових, є логічно-рівноцінними.

Сукупність усіх BSS мережі і інтегрованих провідних сегментів (локальних мереж) носить найменування розширеного службового набору (*Extended Service Set, ESS*). Територія, як зайнята елементами ESS, називають розширеною площею

обслуговування (*Extended Service Area, ESA*). Максимальна кількість вузлів ESS стандартом IEEE 802.11 не регламентується. Інфраструктура ESS: її система розподілу, точки доступу, портали, інтерфейс з WAN – створюється оператором (провайдером) ESS. Мережа має забезпечувати по-перше, взаємозв'язок між усіма вузлами, що входять в проводові та безпроводові сегменти, і, по-друге, зв'язок з вузлами глобальної мережі (якщо такий зв'язок передбачено).

Однозначність ідентифікації вузлів мережі при передачі повідомлень між ними забезпечується прийнятою системою кодового позначення елементів мережі.

Передбачено 3 різновиди ідентифікаторів елементів:

- ідентифікатор ESS (*Service Set Identification, SSID*), який представляє собою найменування ESS, що складається з 32 букв і цифр (alphanumeric) символів;
- ідентифікатор BSS (*Basic Service Set Identification, BSSID*), який збігається з MAC-адресою точки доступу відповідної BSS;
- ідентифікатор STA, який збігається з MAC-адресою розглянутої станції.

MAC-адреси надаються AP і STA відповідно до загальноприйнятих правил: три перших байти адреси використовуються для позначення виробника NIC, а три залишаються для позначення номера NIC. Ідентифікатори мереж (SSID) визначаються їх операторами і, звичайно, є текстове «найменування мережі». Всі станції ESS повинні мати право на використання її телекомунікаційних ресурсів. SSID використовуються для первинної (початкової) перевірки права абонентів на роботу в ESS [3].

Характеристики продуктивності мережі обумовлюється специфікацією вище згаданого стандарту IEEE 802.11, який буде розглянуто більш детально у другому розділі дипломної роботи.

1.5 Висновок до розділу 1

Розвиток технологій передачі даних є актуальним питанням на сьогодні, адже він охоплює усі сфери нашого життя. Однією із основних вимог є можливість кінцевого користувача отримувати доступ до різних мереж з різних типів пристроїв. Безпроводові мережі дозволяють працювати набагато продуктивніше та не обмежують користувача. А застосування сучасних стандартів безпроводових мереж дозволить зробити їх значно ефективнішими за показниками швидкості передачі даних та кількістю абонентів, що ними користуються.

В даній дипломній роботі передбачено розглянути особливості застосування IEEE 802.11ac стандарту, оскільки він дозволяє розширити пропускну здатність мережі та зменшити енергоспоживання пристроїв, що використовують мережу.

2 АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК СІМЕЙСТВА СТАНДАРТІВ 802.11

2.1 Еволюція розвитку стандарту IEEE 802.11

В даний час існує велика кількість стандартів сімейства IEEE 802.11:

1. *IEEE 802.11* – базовий стандарт. Підтримує передачу даних по радіоканалу зі швидкостями 1 і 2 (опціонально) Мбіт/с.
2. *IEEE 802.11a* – високошвидкісний стандарт WLAN. Підтримує передачу даних зі швидкостями до 54 Мбіт/с по радіоканалу в діапазоні близько 5 ГГц.
3. *IEEE 802.11b* – найпоширеніший стандарт. Підтримує передачу даних зі швидкостями до 11 Мбіт/с по радіоканалу в діапазоні близько 2,4 ГГц.
4. *IEEE 802.11c* – стандарт, що регламентує роботу безпроводових мостів. Дана специфікація використовується виробниками безпроводових пристроїв при розробці точок доступу.
5. *IEEE 802.11d* – стандарт визначає вимоги до фізичних параметрів каналів (потужність випромінювання і діапазони частот) і пристроїв безпроводових мереж з метою забезпечення їх відповідності законодавчим нормам різних країн.
6. *IEEE 802.11e* – стандарт визначає механізм призначення пріоритетів різним видам трафіку, таким, як аудіо- і відеододатки.
7. *IEEE 802.11f* – стандарт, пов'язаний з аутентифікацією, визначає механізм взаємодії точок зв'язку між собою при переміщенні клієнта між сегментами мережі (*Inter Access Point Protocol*).
8. *IEEE 802.11g* – стандарт встановлює додаткову техніку модуляції для частоти 2,4 ГГц. Призначений, для забезпечення швидкостей передачі даних до 54 Мбіт/с по радіоканалу в діапазоні близько 2,4 ГГц.
9. *IEEE 802.11h* – стандарт, що описує управління спектром частоти 5 ГГц для використання в Європі і Азії. Розробка даного стандарту пов'язана з

проблемами при використанні 802.11a в Європі, де в діапазоні 5 ГГц працюють деякі системи супутникового зв'язку. Для запобігання взаємних перешкод стандарт 802.11h має механізм "квазіінтелектуального" управління потужністю випромінювання і вибором несучої частоти передачі.

10. **IEEE 802.11i (WPA2)** – метою створення даної специфікації є підвищенням рівня безпеки безпроводових мереж. У ній реалізований набір захисних функцій при обміні інформацією через безпроводові мережі – зокрема, технологія AES (*Advanced Encryption Standard*) – алгоритм шифрування, що підтримує ключі довжиною 128, 192 і 256 біт. Передбачається сумісність всіх використовуваних в даний час пристроїв, зокрема, Intel Centrino.

11. **IEEE 802.11j** – специфікація призначена для Японії і розширює стандарт 802.11a додатковим каналом 4,9 ГГц.

12. **IEEE 802.11n** – перспективний стандарт, що дозволяє підняти пропускну здатність мереж до 100 Мбіт/с.

13. **IEEE 802.11r** – даний стандарт передбачає створення універсальної і сумісної системи роумінгу для можливості переходу користувача із зони дії однієї мережі в зону дії іншої.

14. **IEEE 802.11ac** – стандарт безпроводових локальних мереж Wi-Fi, який працює в діапазоні частот 5 ГГц. Отримав назву Wi-Fi 5. Сумісний з IEEE 802.11n (в діапазоні 5 ГГц) і IEEE 802.11a; пристрої даного стандарту зазвичай також реалізують стандарт 802.11n в діапазоні 2,4 ГГц. [4]

Продукти 802.11ac Wave 1 та Wave 2 доступні на ринку приблизно з середини 2013-го. Додана підтримка Multi User MIMO (MU-MIMO); допускається використання широких каналів в 160 МГц; четвертий просторовий потік (Spatial Stream) для більшої продуктивності і стабільності; більше каналів в діапазоні 5 ГГц.[5]

15. **IEEE 802.11af**, також званий White-Fi і Super Wi-Fi – це стандарт безпроводової мережі для комп'ютерів в сімействі 802.11, який дозволяє

використовувати безпроводову локальну мережу WLAN в телевізійному діапазоні УВЧ 54 і 790 МГц. Система когнітивного радіо використовується для передачі по невикористаним смугах частот телевізійного каналу і зі стандартними заходами щодо обмеження перешкод для первинних користувачів, таких як аналогове телебачення, цифрове телебачення і безпроводові пристрої передачі даних.

16. **IEEE 802.11ah** – це протокол безпроводової мережі, названий Wi-Fi HaLow, розроблений як додаток до стандарту безпроводової мережі IEEE 802.11. Цей протокол працює на частоті 900 МГц, що не потребує ліцензування для, забезпечення розширеного діапазону Wi-Fi мереж, в порівнянні зі звичайними мережами Wi-Fi, що працюють в діапазонах 2.4 ГГц і 5 ГГц. Його низьке енергоспоживання є перевагою, що дозволяє створювати великі групи станцій або датчиків, які взаємодіють щоб поширювати сигнали, підтримуючи концепцію Інтернету речей (*Internet of Things, IoT*). [6] Низький рівень споживання енергії протоколу конкурує з Bluetooth і має додаткову перевагу – більш високі швидкості передачі даних і більш широкий діапазон покриття. [7]

17. **IEEE 802.11ax**, Wi-Fi 6 (англ. *High-Efficiency Wireless, HEW* – безпроводовий зв'язок високої ефективності) – стандарт безпроводових локальних комп'ютерних мереж в наборі стандартів IEEE 802.11. На додаток до використання технологій MIMO і MU-MIMO (використовується кілька антен для прийому і передачі), в стандарті Wi-Fi 6 вводиться режим ортогонального частотного мультиплексування OFDMA для поліпшення спектральної ефективності і модуляція 1024-QAM для збільшення пропускної спроможності; хоча номінальна швидкість передачі даних тільки на 37% вище, ніж в попередньому стандарті IEEE 802.11ac (Wi-Fi 5), очікується, що Wi-Fi 6 дозволить в 4 рази збільшити середню пропускну здатність за рахунок більш ефективного використання спектра і поліпшень для щільного розгортання. Пристрої даного стандарту призначені для роботи в уже існуючих діапазонах 2,4 ГГц і 5 ГГц, але може включати додаткові смуги частот в діапазонах від 1 до 7 ГГц.

18. *IEEE 802.11ay* є розширенням до поточних технічних стандартів безпроводових мереж. Він є розширенням стандарту 802.11ad, зі збільшеним в 4 рази частотним діапазоном і MIMO, розширеним до 8 потоків. Він буде другим стандартом WiGig.

19. *IEEE 802.11az*, зазвичай званий позиціонуванням наступного покоління (*Next Generation Positioning, NGP*), дозволяє STA визначати своє положення щодо множинних AP. Цей стандарт підтримує два формати протокольних одиниць даних на фізичному рівні з високою ефективністю.

Робоча група 802.11 має структурований підхід, щодо впровадження нових технологій та включає наступні критерії: широкий потенціал ринку, сумісність, визначна ідентичність, технічна доцільність, економічна доцільність.

Структурований метод розробки нових стандартів призвів до довгої історії інновацій, забезпечуючи як нові фізичні рівні, так і вдосконалення рівня контролю доступу середнього рівня (MAC) з точки зору безпеки та якості обслуговування, як показано на рис. 2.1.

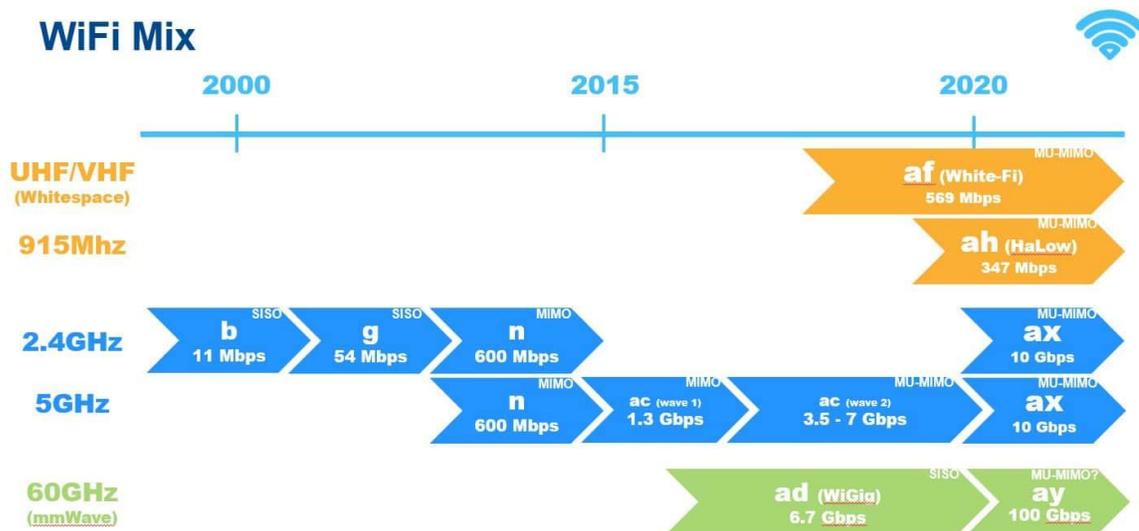


Рисунок 2.1 – Еволюція розвитку стандарту безпроводових мереж IEEE 802.11

2.2 Специфікація 802.11ac

Концептуально 802.11ac – це еволюція стандарту 802.11n, а не принципово новий підхід. У таблиці 2.1 викладено відмінності між 802.11n та 802.11ac.

Таблиця 2.1 – Відмінності між 802.11n та 802.11ac

802.11n	802.11ac
Підтримує канали 20 і 40 МГц	Додає канали 80 та 160 МГц
Підтримує смуги частот 2,4 ГГц та 5 ГГц	Підтримує лише 5 ГГц
Підтримує BPSK, QPSK, 16-QAM та 64-QAM	Додає 256-QAM
Підтримує багато типів явного формування променя	Підтримує 1 тип явного формування променя лише для нульового пакету даних (null data packet, NDP)
Підтримує до чотирьох просторових потоків	Підтримує до восьми просторових потоків (AP); клієнтські пристрої до чотири просторових потоків
Підтримує лише однокористувацьку передачу MIMO	Додає багатокористувацьку передачу MU-MIMO
Включає значні вдосконалення MAC (A-MSDU, A-MPDU)	Підтримує подібні вдосконалення MAC, з розширеннями для забезпечення високої швидкості передачі даних

2.2.1 Застосування MU-MIMO. Багато методів, що використовуються для збільшення швидкості в 802.11ac, побудовані на основі застосування MIMO.

MIMO (*англ. Multiple Input Multiple Output*) – системи зв'язку з рознесеними передавальними і приймальними антенами. Їхнє використання дозволяє проводити просторову і часову обробку сигналів, ефективніше використовувати випромінювану передавачем потужність і знижувати негативний вплив завад. Внаслідок цього пропускна спроможність MIMO-систем теоретично може бути збільшена пропорційно числу антенних елементів у порівнянні зі звичайними

системами зв'язку, що використовують одноелементні антени (без збільшення повної випромінюваної потужності і смуги частот). [1]

Модель MIMO каналу – високошвидкісний потік даних, що розбивається на M незалежних послідовностей з $1/M$ швидкістю, які потім передаються одночасно з декількох антен, відповідно використовуючи тільки $1/M$ первинної смуги частот (рис. 2.2).

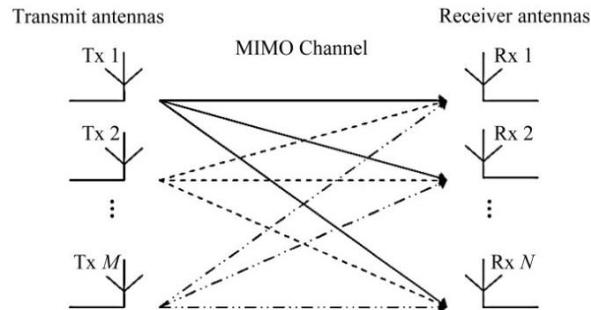


Рисунок 2.2 – Модель MIMO каналу

Перетворювач потоку даних на передавальному кінці лінії зв'язку перетворює послідовний потік у паралельний, а на приймальному – виконується зворотне перетворення.

Замість того, щоб використовувати MIMO лише для збільшення кількості потоків даних, що надсилаються одному клієнту, 802.11ac запроваджує багатокористувацьку форму MIMO – MU-MIMO, яка дозволяє точці доступу (AP) надсилати дані одночасно декільком клієнтам (рис 2.3).



Рисунок 2.3 – а) багатокористувацька форма MIMO – MU-MIMO

б) однокористувацька форма MIMO

Рисунок 2.4 показує відмінність між однокористувацькими технологіями MIMO, що використовуються в 802.11n та новими багатокористувацькими MIMO в 802.11ac. На рис. 2.4 (a) всі просторові потоки спрямовані до одного приймального пристрою. На відміну від цього, на рис. 2.4 (b) показано, що означає багатокористувацький передавач MIMO, точка доступу передає чотири одночасних просторових потоки на три окремі пристрої. Два просторових потоки передаються на ноутбук, що підтримує швидкісну передачу даних. Кожен з двох інших просторових потоків передається на однопотоковий пристрій, такий як телефон або планшетний комп'ютер, щоб три передачі були окремими.

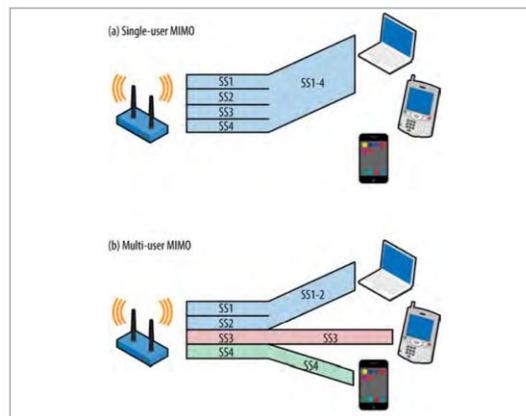


Рисунок 2.4 – Формування просторових потоків MIMO та MU-MIMO

Однак правильне впровадження MU-MIMO досить складне з технічної точки зору. Рисунок 2.4 – ідеальне зображення. На практиці між передачами різним клієнтам завжди будуть перехресні переговори. Що стосується реалізації, кожна з декількох передач на рис. 2.4 (b) буде повільнішою, ніж одинарна передача на малюнку 2.4 (a), але загальна пропускна здатність у випадку багаторазової передачі буде більшою.

Щоб сфокусувати кожну передачу до відповідного приймача AP використовує формування променя.

Формування променю – це процес, за допомогою якого відправник (передавач) може спрямовувати свою енергію переважно до приймача, щоб збільшити відношення сигнал/шум, а отже, і швидкість передачі. Загалом кажучи, його можна розподілити на два основних типи. Явне формування променю базується на тому, що передавач і приймач обмінюються інформацією про характеристики радіоканалу для отримання максимальної продуктивності радіоканалу на основі вимірювань якості каналу, тоді як неявне формування променю базується на висновках про характеристики каналу при втраті кадрів. Явне формування променю, як правило, більш потужне, оскільки вимірювання каналів є більш детальними, ніж висновок про втрату, але явне вимірювання та обмін даними по радіолінії повинні підтримуватися обома кінцями посилення. Для передачі кадрів, сформованих променем, як правило, потрібна антенна решітка, здатна змінювати свій шаблон на основі кадру, саме тому термін "розумна антена" часто використовується в обговореннях формування променю.

802.11ac радикально спрощує технічні характеристики формування променю. Формування променю в 802.11n вимагало двох пристроїв для реалізації відповідних функцій формування променю з доступного меню опцій. Дуже мало постачальників застосували однакові варіанти, і, як результат, майже не було сумісності.

802.11ac формує до восьми просторових потоків, порівняно з чотирма просторовими потоками 802.11n, в точці доступу. Додаткові просторові потоки можуть бути використані для передачі кільком клієнтам одночасно. Завдяки можливості передачі даних на високій швидкості одночасно до кількох клієнтів, 802.11ac прискорює мережі навіть більше, ніж це може бути очевидно з простого перегляду швидкості передачі даних.

2.2.2 Діапазон робочих частот для 802.11ac. На відміну від 802.11n, який працював у всіх неліцензійних смугах спектру, виділених безпроводовим

локальним мережам, 802.11ac обмежений лише роботою 5 ГГц діапазону. Він недоступний у діапазоні 2,4 ГГц.

Таблиця 2.2 – Стандарти 802.11, що функціонують у смугах 2,4 ГГц та 5 ГГц

2,4 ГГц	5 ГГц
802.11	802.11a
802.11b	802.11n
802.11g	802.11ac
802.11n	

Рішення зупинити роботу специфікації 802.11ac у діапазоні 2,4 ГГц часто є джерелом запитань у користувачів, які сподівалися, що 802.11ac різко покращить продуктивність старих пристроїв на 2,4 ГГц. Але існує обґрунтоване технічне пояснення того, чому 802.11n є «червоною лінією» для спектру 2,4 ГГц.

Спектр на 5 ГГц набагато чистіший, оскільки немає перешкод від Bluetooth, мікрохвильових печей, безпроводових телефонів 2,4 або будь-якого з безлічі випадкових пристроїв, які забруднюють смугу 2,4 ГГц.

Хоча жоден із цих пристроїв, взятих окремо, не робить багато для підвищення рівня шуму, разом узяті, вони можуть спільно підвищити рівень шуму загалом приблизно на 5 дБ.

Подвоєння ширини каналу до 40 МГц у 802.11n забезпечило не лише подвоєну швидкість, а і відповідні вимоги до каналу. Використовувати канали 40 МГц у мережі 2,4 ГГц 802.11n досить складно, оскільки два з трьох доступних каналів передачі повинні бути чіткими для передачі. Тримати всі три канали 2,4 ГГц чіткими було б ще складніше. Навіть у мережі, яка призначена лише для використання новими широкосмуговими пристроями 802.11ac, все одно будуть інші вузькосмугові пристрої. Використовується забагато телефонів і планшетів,

що працюють від акумулятора, щоб вважати, що мережа може бути обмежена лише широкосмуговими пристроями.

Специфікація 802.11ac йде ще далі, до каналів 80 і 160 МГц, але не існує 160 МГц доступного спектра для старого розподілу 2,4 ГГц. Якщо, однак, необхідно повністю використати канал на цілих 80 МГц, за визначенням весь відкритий діапазон частот повинен бути вільним від інших передач.

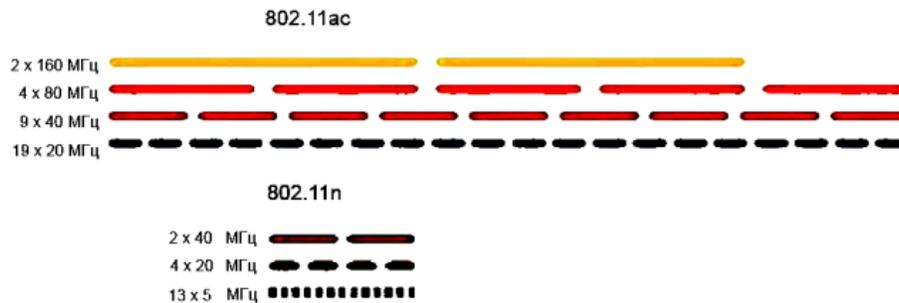


Рисунок 2.5 – Розділення каналів для стандартів 802.11ac та 802.11n

2.2.3 PHY-Level Framing При розробці кадру для фізичного рівня специфікації 802.11ac розробники протоколів почали з викладання вимог, яким повинен відповідати новий фрейм. Найголовніше, що він повинен бути сумісним із попередніми PHY 802.11. Коли пристрій 802.11ac передає, пристрої 802.11a та 802.11n повинні мати можливість бачити та уникати передачі протягом визначеного часу. Для задоволення цієї вимоги формат кадру фізичного рівня VHT подібний до формату змішаного режиму, що використовується у 802.11n, і він починається з тих самих полів, що й кадри 802.11a. Але також необхідно врахувати багатокористувацькі передачі MIMO, тобто преамбула повинна мати можливість описувати кількість просторових потоків і дозволяти декільком приймачам налаштуватися на отримання своїх кадрів. Щоб задовольнити цю другу вимогу, потрібен був новий заголовок фізичного рівня, оскільки поле заголовка 802.11n HT-SIG не було легко розширюваним до нової ширини каналів або великої кількості просторових потоків.

Порівняно з 802.11n, фізичний рівень для 802.11ac набагато простіший, оскільки існує лише один формат. На рис. 2.6 показано оригінальний формат кадру OFDM, що не є HT (non-Higher Throughput), на рис. 2.6 (a), а також формат змішаного режиму 802.11n (Higher Throughput) на рис. 2.6 (b) та формат VHT (Very Higher Throughput) на рис. 2.6 (c).

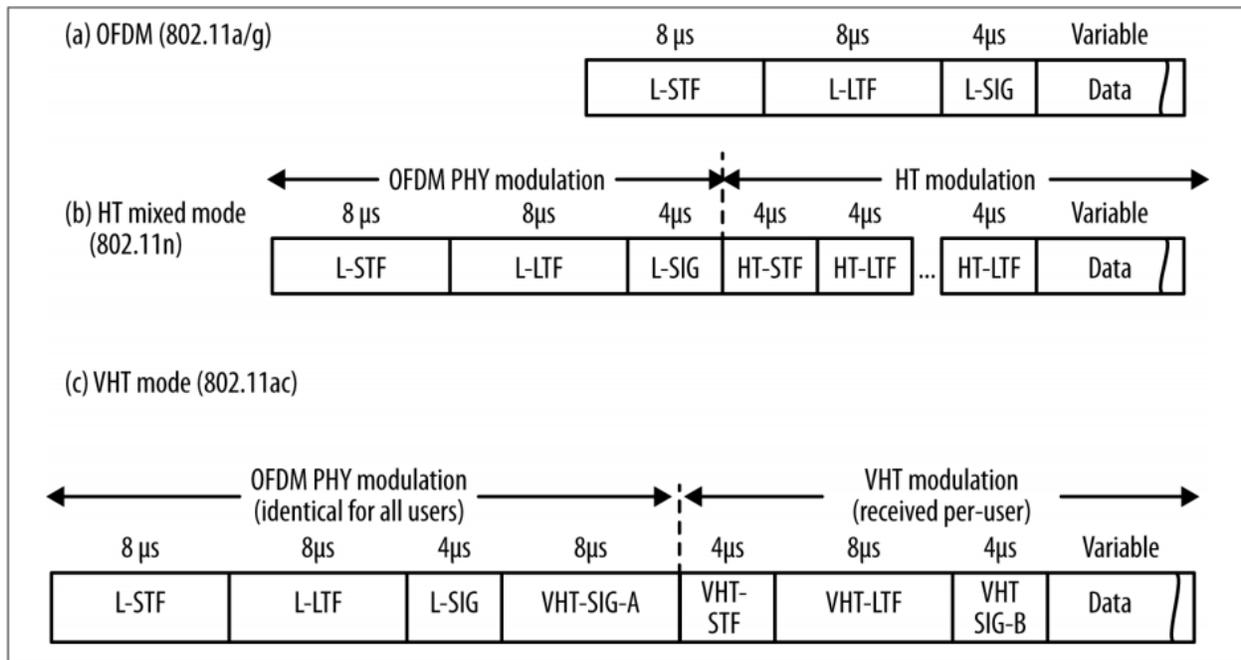


Рисунок 2.6 – VHT формат кадру фізичного рівня

Поля у кадрі VHT мають наступний вигляд:

Ці поля ідентичні полям, використаним у 802.11a; вони складаються з послідовності з 12 символів OFDM, які використовуються для допомоги приймачу в ідентифікації того, що кадр 802.11 ось-ось почнеться, синхронізації таймерів та вибору антени. Будь-який пристрій 802.11, який здатний працювати з OFDM, може декодувати ці поля.

(L-SIG) – поле сигналу призначене для опису швидкості передачі даних та довжини (у байтах) кадру, що використовується приймачами для обчислення тривалості часу кадру.

Пристрої 802.11ac встановлюють швидкість передачі даних на 6 Мбіт/с і довжину в байтах, щоб, коли будь-який приймач обчислює довжину, вона відповідає тривалості часу, необхідній для кадру 802.11ac.

Поля сигналу VHT A (VHT-SIG-A) та сигналу B (VHT-SIG-B) – є аналогом поля сигналу (L-SIG), що використовується в 802.11a, або поля сигналу HT, що використовується в 802.11n; однак їх розуміють лише пристрої 802.11ac.

У них містяться атрибути кадру, такі як ширина каналу, модуляція та кодування, а також те, чи є кадр одно- або багатокористувацьким.

(VHT-STF) допомагає приймачу виявляти повторюваний шаблон і встановлювати коефіцієнт посилення приймача.

(VHT-LTF) складається з послідовності символів, що встановлюють демодуляцію решти кадру, починаючи з поля VHT Signal B. Залежно від кількості переданих потоків, воно складається з 1, 2, 4, 6 або 8 символів; кількість необхідних символів округлюється до наступного найвищого парного значення, тому посилення з п'ятьма потоками буде використовувати шість символів. Вміст цього поля також використовується для процесу оцінки каналу, від якого залежить формування променя.

Поле даних (Data) містить пакет протоколів вищого рівня або, можливо, сукупний фрейм, що містить кілька пакетів вищого рівня. Якщо в корисному навантаженні фізичного рівня немає поля даних, воно називається нульовим пакетом даних (NDP), який використовується VHT PHY для налаштування формування, вимірювання та тюнінгу.

2.2.4 256-QAM модуляція Попередні стандарти 802.11 допускали до 64-QAM, що дозволяло кожному символу передачі приймати одне з 64 значень. Квадратурна амплітудна модуляція (QAM) працює, використовуючи комбінацію рівня амплітуди та фазового зсуву, щоб вибрати один із багатьох символів у сузір'ї. Для ідентифікації кожного з 64 значень існує вісім рівнів фази (зсув фаз) і

вісім рівнів квадратури (амплітуда хвилі). Кожен раз, коли символ передається, він може приймати один із восьми фазових зсувів і один з восьми рівнів амплітуди.

Як і в багатьох інших аспектах протоколу, 802.11ac значно покращує існуючу технологію, використовуючи 256-QAM. Замість сузір'я, яке дорівнює 8 на 8, сузір'я 256-QAM має 16 фазових зсувів і 16 рівнів амплітуди. Рисунок 2.7 порівнює 64 QAM та 256-QAM сузір'я. На перший погляд, вони досить схожі, хоча в останньому є набагато більше можливих значень.

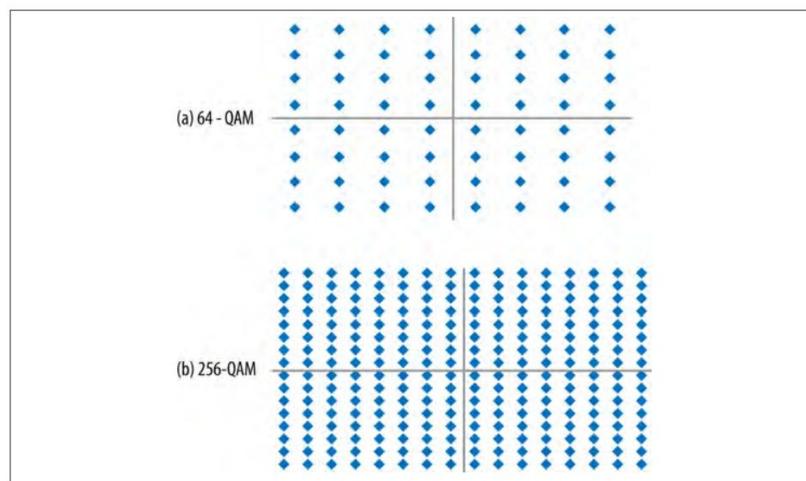


Рисунок 2.7 – Порівняння 64 QAM та 256-QAM сузір'я модуляцій

Велика кількість додаткових точок у сузір'ї 256-QAM може суттєво покращити швидкість. Замість того, щоб передавати максимум шість бітів на кожну піднесучу в каналі, кодована 256-QAM передає вісім бітів. Це дозволяє отримати збільшення швидкості на 33% порівняно з найближчим еквівалентом у 802.11n.

Але нічого не можна придбати безкоштовно, і підвищення швидкості на 256 QAM не є винятком. Для використання 256-QAM помилки в радіозв'язку повинні бути набагато меншими, ніж раніше. У ідеальному зв'язку з ідеальними передачами, які приймаються абсолютно без помилок, отримані точки вирівнюються точно по точках сузір'я, і тоді легко зрозуміти, що повинно було

бути передано. Однак реальний радіозв'язок ніколи не буває ідеальним. Коли символ отриманий, він не вирівнюється точно в точці сузір'я. Різниця між ідеальною точкою сузір'я та точкою, яка відповідає отриманому символу, існує у двовимірному просторі, і тому „промах” описується вектором помилок рис 2.8 (а).

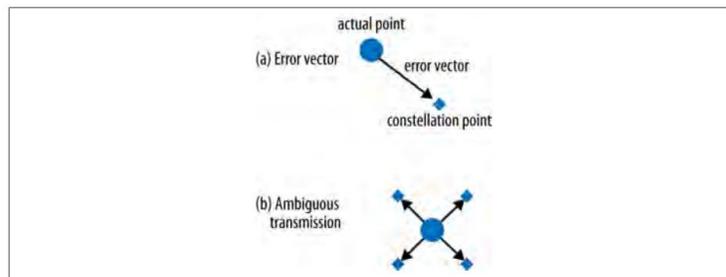


Рисунок 2.8 Вектор помилки

Не дивно, що передача на 256-QAM вимагає набагато менших помилок, ніж менш щільно упаковані попередні сузір'я. Наприклад, коли отриманий символ знаходиться посередині кількох точок сузір'я, наприклад на рис. 2.8 (b), приймач повинен вибрати одну з точок. Якщо він вгадав неправильно, можливо, потрібно буде відмітити весь кадр. Впровадження 802.11ac показали, що необхідна продуктивність приймача для 256-QAM є збільшенням приблизно на 5 дБ порівняно з продуктивністю приймача 64-QAM. Для досягнення кращих показників можна застосовувати різноманітні методи. Більш ефективні коди для виправлення помилок можуть забезпечити деяку необхідну продуктивність; 802.11ac включає в себе код перевірки на парність низької щільності (LDPC), який може забезпечити посилення 1–2 дБ. Вибір кращих компонентів для аналогового інтерфейсу також може допомогти.

Мінімізація помилок в аналоговій секції інтерфейсу 802.11ac допомагає цифровій секції краще виконувати свою роботу. Використання LDPC та вдосконалення аналогового інтерфейсу не є взаємовиключними, і деякі постачальники будуть робити і те, і інше.

2.2.5 Енергоспоживання Економне споживання енергії є однією з найважливіших критеріїв стандарту.

Підвищена пропускна здатність технології 802.11ac дозволяє швидше завантажити необхідних файл з інтернету, а потім миттєво перевести контролер безпроводової мережі до сплячого режиму для мінімізації енергоспоживання.

Наявність чіпів, вбудованих у мобільні пристрої, підвищує автономність не тільки рівної, але і більшої швидкості передавання даних.

При активному обміні даними з інтернетом акумулятор мобільного пристрою розряджається в півтора-два рази швидше звичайного режиму. Нові пристрої до 6 разів енергоефективніші порівнюючи з їх аналогами на базі 802.11n. Проте, на практиці середня цифра економії буде набагато нижче ніж наведена.

2.2.6 Wave1 та Wave2 специфікації 802.11ac На початковому етапі впровадження стандарту 802.11 специфікації фізичного рівня були простішими і з'являлися на ринку в один крок. Починаючи з 802.11n, технічні специфікації почали випереджати можливості розробки продуктів, і обладнання тепер надходить на ринок поступово. Перша хвиля продуктів 802.11ac була зумовлена ентузіазмом до вищих швидкостей. Точки доступу, що забезпечують 80 МГц канали та модуляцію 256-QAM, збільшили швидкість з 450 Мбіт/с до 1,3 Гбіт/с. Друга хвиля продуктів 802.11ac обумовлена появою ширших каналів і багатокористувацькою підтримкою MIMO, як зазначено на рис. 2.9.

Attribute	First wave	Second wave
Maximum number of spatial streams	3	3 or 4
Channel width	80 MHz	160 MHz
Maximum modulation	256-QAM	256-QAM
Typical maximum speed	1.3 Gbps	2.6 Gbps
Beamforming support	Varies (depending on vendor)	Yes
MU-MIMO support	No	Possibly

Рисунок 2.9 – Wave1 та Wave2 специфікації 802.11ac

2.3 Безпека WLAN стандарту 802.11ac

Одним із основних недоліків WLAN є легкий доступ зломисників до мережі з будь-якої точки в межах дії безпроводового зв'язку. Є декілька методів обмеження доступу в безпроводову мережу.

Фільтрація по MAC-адресах При використанні фільтрації по MAC-адресах рішення про допуск конкретного пристрою в безпроводову мережу приймається на підставі MAC-адреси. При кожній спробі безпроводового клієнта встановити з'єднання або асоціюватися з точкою доступу він повинен передати свою MAC-адресу. Якщо включена функція фільтрації по MAC-адресах, то безпроводовий маршрутизатор або точка доступу виконає пошук MAC-адреси цього пристрою у своєму попередньо створеному списку. Підключення до мережі буде дозволено лише тим пристроям, чії MAC-адреси внесені в базу даних маршрутизатора. Якщо MAC-адреса в базі даних відсутня, то пристрою буде відмовлено у підключенні до безпроводової мережі. Такий спосіб забезпечення безпеки має один суттєвий недолік. Зломисник може створити клон MAC-адреси пристрою, який внесений в базу даних «дозволених пристроїв», і таким чином, отримати доступ до мережі.

Автентифікація – це надання дозволу на вхід в мережу за результатами перевірки автентичності набору облікових даних. Її мета – з'ясувати, чи є пристрій, що намагається встановити з'єднання, довіреним пристроєм. Найбільш поширена автентифікація по імені користувача та пароллю. Існує три методи автентифікації в безпроводових мережах: відкрита автентифікація, PSK і EAP.

Відкрита автентифікація За замовчуванням, автентифікація безпроводових пристроїв не вимагається. Усім пристроям дозволено встановлювати з'єднання незалежно від їх типу. Це називається відкритою автентифікацією (*Open Authentication*). Відкрита автентифікація повинна використовуватися тільки в загальнодоступних безпроводових мережах (*Public Wireless Networks*), наприклад,

в школах, інтернет-кафе, вокзалах і т. п. Вона може використовуватися в мережах, де автентифікація буде виконуватися іншими засобами після підключення до мережі.

При використанні режиму PSK (*Pre-shared keys*) точка доступу і клієнт повинні використовувати загальний ключ або кодове слово. Точка доступу відправляє клієнту випадковий рядок байтів. Клієнт приймає цей рядок, шифрує його, використовуючи ключ, і відправляє назад в точку доступу. Точка доступу отримує зашифрований рядок і для його розшифрування використовує свій ключ. Якщо розшифрований рядок, отриманий від клієнта, збігається з вихідним рядком, то клієнту дається дозвіл встановити з'єднання. В цьому випадку виконується одностороння автентифікація, тобто точка доступу перевіряє реквізити вузла, що під'єднується. PSK не здійснює перевірки вузлом справжності точки доступу, а також не перевіряє достовірності користувача, що під'єднується до мережі.

Розширюваний протокол автентифікації EAP (*Extensible Authentication Protocol*) забезпечує взаємну або двосторонню автентифікацію, а також автентифікацію користувача. Якщо на стороні клієнта встановлено програмне забезпечення EAP, клієнт взаємодіє з внутрішнім сервером автентифікації, наприклад, таким як служба віддаленої автентифікації користувачів з комутованим доступом (*Remote Authentication Dial-in User Service, RADIUS*). Цей внутрішній сервер працює незалежно від точки доступу і веде базу даних користувачів, які мають дозвіл на доступ в мережу. При застосуванні EAP користувач, а не тільки вузол, повинен пред'явити ім'я та пароль, які потім перевіряються по базі даних сервера RADIUS. Якщо пред'явлені облікові дані є допустимими, вважається, що користувач пройшов автентифікацію. Якщо функція автентифікації включена, то незалежно від застосовуваного методу клієнт повинен успішно пройти автентифікацію до того, як йому буде надано дозвіл на з'єднання з точкою доступу. Якщо включені функції автентифікації і фільтрації по MAC-адресах, то в першу чергу виконується автентифікація. Автентифікація і

фільтрація по MAC-адресах можуть блокувати зловмиснику доступ в безпроводову мережу, але не зможуть запобігти перехопленню переданих даних. Оскільки не існує чітких меж безпроводових мереж і весь трафік передається без кабелю, то зломщик може легко перехопити або прочитати кадри даних безпроводової мережі.

Шифрування – це процес перетворення даних, з метою приховання інформації.

Протокол WEP Протокол для забезпечення конфіденційності безпроводових мереж (Wired Equivalency Protocol, WEP) – це вдосконалений механізм безпеки, що дозволяє шифрувати мережевий трафік в процесі передачі. У протоколі WEP для шифрування і розшифрування даних використовуються попередньо налаштовані ключі. WEP-ключ вводиться як рядок чисел і букв довжиною 64 або 128 біт. В деяких випадках протокол WEP підтримує 256-бітові ключі. Для спрощення створення і введення цих ключів в багатьох пристроях використовуються фрази-паролі (*passphrase*). Фраза-пароль – це простий засіб запам'ятовування слова або фрази, які використовуються при автоматичній генерації ключа. Для ефективної роботи протоколу WEP точка доступу, а також кожен безпроводовий пристрій повинні використовувати загальний WEP-ключ. Без цього ключа пристрої не зможуть розпізнати дані, які передаються по безпроводовій мережі. Протокол WEP – це ефективний засіб захисту даних від перехоплення. Тим не менш, протокол WEP також має свої слабкі сторони, одна з яких полягає у використанні статичного ключа для всіх пристроїв з підтримкою WEP. Існують програми, що дозволяють зловмиснику визначити WEP-ключ. Ці програми можна знайти в мережі Інтернет. Одним із засобів захисту від такої вразливості є часта зміна ключів.

Протоколі WPA Протокол захищеного доступу до Wi-Fi (*Wi-Fi Protected Access, WPA*), у ньому використовуються ключі шифрування довжиною від 64 до 256 біт. При цьому WPA, на відміну від WEP, генерує нові динамічні ключі при

кожній спробі клієнта встановити з'єднання з точкою доступу. З цієї причини WPA вважається більш безпечним, ніж WEP, так як його значно важче зламати.

802.11ac не вносить принципових змін в архітектуру безпеки 802.11, а також не вводить нових функцій, які вимагають значних змін у існуючих системах мережевої безпеки. Будь-які пристрої мережевої безпеки, для існуючої безпроводової локальної мережі, продовжуватимуть працювати після оновлення до 802.11ac.

2.4 Висновки до розділу 2

В даному розділі досліджено особливості стандарту 802.11ac. Визначено основні відмінності та нововведення в організації стандарту в порівнянні з 802.11n, а саме:

1. Безпроводова мережа стандарту 802.11ac працює в діапазоні 5 ГГц, що менш заповнений завадами та забезпечує вищу швидкість і в порівнянні з діапазоном 2,4 ГГц.

2. Завдяки технології MU-MIMO маршрутизатори стандарту використовують всі антени (кожне клієнтське обладнання працює з максимальною продуктивністю), що дає можливість одночасної трансляції декількох потоків даних.

3. Технологія Beamforming (формування спрямованого сигналу, динамічне змінювання діаграми спрямованості антен) не тільки покращує поширення сигналу на відкритій території, але також допомагає при проходженні крізь завади.

4. Для досягнення більш високої пропускної здатності стандарт 802.11ac передбачає об'єднання декількох каналів шириною до 160 МГц, в той час, коли в безпроводових мережах стандарту 802.11n ширина каналу складає 40 МГц.

5. Маршрутизатор 802.11ac підтримує як нові, так і попередні стандарти зв'язку, що дозволяє використовувати старі пристрої без будь-яких обмежень.

В сукупності всі ці нововведення дозволяють отримати пропускну здатність в 3500 Мбіт/с, що майже в 6 раз перевищує можливості стандарту 802.11n (600 Мбіт/с). Доступні у продажу 802.11ac – маршрутизатори забезпечують номінальну швидкість передавання даних в 1300 Мбіт/с та допускають, що паралельно буде використовуватись безпроводова мережа стандарту 802.11n (450 Мбіт/с) без будь-якого взаємного негативного впливу.

3 ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ БЕЗПРОВОДОВОЇ ЛОКАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ СТАНДАРТУ 802.11 ac

В даному розділі здійснено вибір необхідного мережевого обладнання та програмного забезпечення для налаштування безпроводової мережі, а також узагальнено рекомендації щодо планування та побудови мультисервісної мережі за специфікацією 802.11 ac.

3.1 Види конфігурацій мереж Wi-Fi

У залежності від умов розгортання та кількості користувачів мережі Wi-Fi можна будувати в різних конфігураціях:

- точка доступу (*Access Point, AP*);
- з'єднання точка-точка (*Point to Point, P2P*);
- з'єднання точка-мультиточка (*Point to Multipoint, P2MP*);
- з'єднання типу безпроводовий міст (*Wireless Distribution System, WDS*).

AP – один з найбільш поширених типів мереж. Використовується удома або в офісах у вигляді поєднання безпроводових точки доступу і маршрутизатора, як показано на рисунку 3.1.

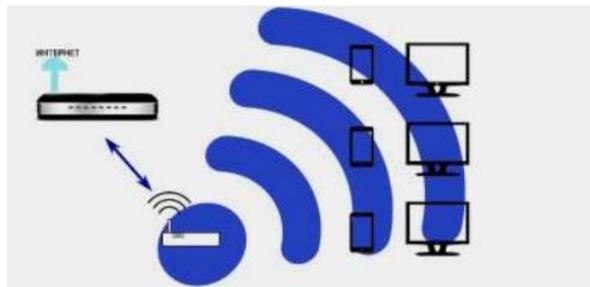


Рисунок 3.1 – Принцип побудови точки доступу Wi-Fi

Найчастіше такі Wi-Fi мережі призначені для доступу в інтернет, але можуть вирішувати і інші завдання, наприклад організувати локальну мережу без доступу в інтернет.

Підключення має наступну структуру:

- маршрутизатор призначає IP-адреси і забезпечує брандмауер між мережею і Інтернетом;
- безпроводова точка доступу (AP) створює безпроводовий міст між маршрутизатором і об'єктами користувацькими;
- об'єкти користувацькими – планшети, смартфони, ПК.

P2P використовується для безпроводового зв'язку двох маршрутизаторів, коли треба об'єднати дві локальні мережі або два ПК. Таке з'єднання можна використати, наприклад, для з'єднання двох будинків на відстані більш 100 м, як на рисунку 3.2.

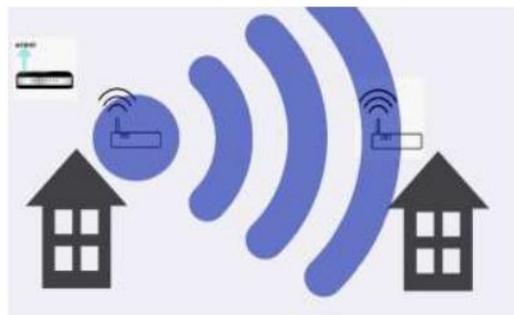


Рисунок 3.2 – Принцип побудови мереж точка-точка

Для дальності понад 500 м використовуються секторні, параболічні або панельні спрямовані антени. При вартості приблизно \$300 такі антени забезпечують дальність передачі безпроводового сигналу в 5-10 км на частоті 5 ГГц (у режимах FDD, TDM). З'єднання точка-точка може складатися з ланцюжка приймачів і передавачів. Таким чином можна передавати сигнал Wi-Fi на велику відстань в умовах, коли прокладення кабелів важко реалізувати.

P2MP використовує один потужний передавач, який транслює Wi-Fi сигнал безлічі користувачів, як зображено на рисунку 3.3. Зазвичай така схема

підключення використовується провайдерами для надання послуг доступу в Інтернет.

Підключення точка-мультиточка має наступну структуру:

- модем с доступом в інтернет;
- точка доступу з потужною всюдиспрямованою антеною;
- клієнтські приймаючі пристрої, які передають сигнал на безпроводову точку доступу користувача.

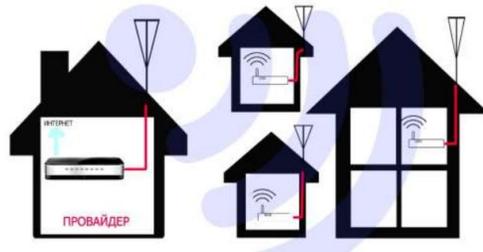


Рисунок 3.3 – Принцип побудови мереж точка-мультиточка

З'єднання точка-мультиточка широко застосовується в умовах міста, наприклад для організації мережі відеоспостереження, в якій відеокамери можуть бути віддалені від операторського центру на кілометри. Найчастіше з'єднання Р2МР використовується для безпроводового доступу в Інтернет і ІР-телефонії. Кількість абонентів в мережі точка-мультиточка залежить від характеристик обладнання і необхідної швидкості підключення у кожного з кінцевих користувачів. Кількість абонентів обмежена пропускною швидкістю базової станції, підключеної до основного мережевого ресурсу (сервер, Інтернет). Зростання кількості абонентів веде до зниження швидкості доступу в мережу у кожного з абонентів, підключеного до своєї точки доступу. Також швидкість доступу знижується разом з падінням рівня сигналу. Невеликі точки доступу обладнані низькопродуктивним чіпсетом, тому зазвичай забезпечують швидкість близько 50 Мбіт/с і обслуговують 10-15 абонентів. Коли треба забезпечити зв'язком більшу кількість абонентів або забезпечити надійний зв'язок на складному рельєфі місцевості, застосовують продуктивні точки доступу з

секторними антенами. Вони направляють усе випромінювання точки доступу у бік абонентів в межах сектора від 30 до 180 градусів. Це дозволяє підвищити якість зв'язку при тій же або меншій потужності передавача. [11]

Завдяки технології WDS (Wireless Distribution System) точки доступу (WAP) можуть з'єднуватися як з будь-яким Wi-Fi-пристроєм, так і між собою, розширюючи зону покриття. Режимими, необхідними для створення інфраструктури технології, є Wi-Fi-міст і режим репітера (повторювача).

Wi-Fi-міст являє собою систему з двох пристроїв, які встановлюються на відстані один від одного, з'єднані одним каналом, рис.3.4.

Безпроводовий міст Wi-Fi необхідний у таких випадках:

- при поганому інтернет зв'язку у віддалених кімнатах габаритних квартир, офісів;
- для організації корпоративних мереж, коли необхідно об'єднати багато комп'ютерів в одну групу;
- для створення зв'язку між офісом і складськими приміщеннями, що знаходяться на великій відстані один від одного;
- для налаштування системи відеоспостереження ззовні приміщенні, яка буде пов'язана з ПК, встановленими всередині приміщення.



Рисунок 3.4 – Приклад побудови мережі типу безпроводовий міст Wi-Fi

3.2 Аналіз і опис існуючих програм для роботи з безпроводовими мережами

На ринку представлена достатня кількість багатофункціональних програмних, що дозволяють здійснювати моделювання запланованих та тестування вже побудованих Wi-Fi-мереж. Розглянемо деякі з них.

3.2.1 EkaHau Heat Mapper Це картографічний програмний інструмент для розгортання невеликих безпроводових мереж рівня будинку і визначення оптимального місця розташування установки точки доступу. Вікно програми зображено на рисунку 3.5.

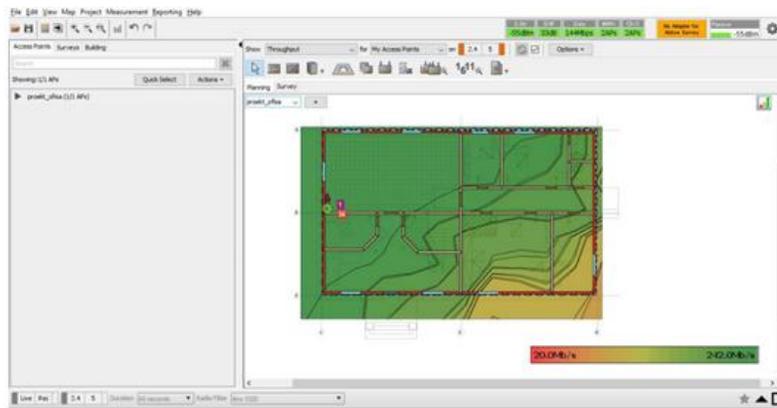


Рисунок 3.5 – Результат роботи програми EkaHau Heat Mapper

Це спрощена безкоштовна версія професійних рішень від компанії EkaHau. Цей програмний продукт надає таку ж мережеву інформацію, як і Wi-Fi сканер безпроводових мереж, але при цьому ще і генерує теплову Wi-Fi карту, щоб можна було наочно візуалізувати рівні сигналів. Програмне забезпечення пропонує можливість створення плану або макету об'єкту, який досліджується, а також проектування топології безпроводової мережі по координатній сітці для приблизного орієнтування. На лівій стороні основного екрану призначеного для користувача інтерфейсу відображається список безпроводових мереж і їх дані, які сортуються по сигналу, каналу, SSID, MAC-адресі і типу захисту.

Використовуючи EkaHau Heat Mapper, як і при роботі з іншими картографічними інструментами, потрібно позначити своє поточне місце розташування на карті, поки робиться обхід будівлі, щоб згенерувати теплову карту покриття Wi-Fi. EkaHau Heat Mapper автоматично визначить місце розташування точок доступу і розташує їх на карті. Після того, як усі дані будуть зібрані, сформується інтерактивна теплова карта покриття Wi-Fi. Так, наприклад, при наведенні курсора на іконку точки доступу окремо підсвічуватиме її покриття; а при наведенні курсора на область теплової карти з'явиться спливаюче вікно підказки для показника рівня сигналу, що приймається, з негативним значенням рівня сигналу у дБм для цієї точки. По відгуках програмне рішення EkaHau Heat Mapper є занадто спрощеним картографічним Wi-Fi сканером: з безкоштовної версії виробники прибрали майже увесь додатковий функціонал, зробивши це рішення дійсно домашньою версією. Крім того, єдина доступна можливість для експорту або збереження – це просто зробити скріншот карти. Проте, рішення EkaHau Heat Mapper можна використати для невеликих мереж або для отримання базового уявлення про те, як працюють професіональні інструменти на основі карт. [9]

Після отримання колірної карти необхідно було зіставити кольорове зображення з числовими характеристиками сили сигналу.

1. Яскраво-червоний – 75-80dBm.
2. Червоний – 70-75dBm.
3. Помаранчевий – 65-70dBm.
4. Жовто-зелений – 60-65dBm.
5. Світло-зелений – 45-60dBm.
6. Яскраво-зелений> – 45dBm.

За результатами роботи програми можна зробити висновок, що рівень сигналу достатній на всій запланованій площі.

3.3.2 Acrylic WiFi Home За допомогою Acrylic Wi-Fi Home можна сканувати доступні безпроводові мережі, з метою отримання інформації про рівень захисту

тієї чи іншої мережі, а також список Wi-Fi паролів за замовчуванням завдяки вбудованій системі плагінів, в тому числі і для мереж стандарту 802.11ac. [9]

Аналіз точок доступу: інформація про мережі Wi-Fi (SSID і BSSID) і про безпроводові пристрої, підключені до мережі в даний момент.

Визначення рівня сигналу: візуальне відображення графіків рівня сигналу для точок доступу.

Список підключень: перейменування відомих безпроводових пристроїв.

Паролі: стандартні паролі до Wi-Fi і ключі WPS, встановлені виробниками.

Канали: розподіл каналів Wi-Fi і сканер Wi-Fi каналів на частотах 2,4 і 5 ГГц.

Безпека Wi-Fi: інформація про рівень захисту WEP, WPA або WPA2.

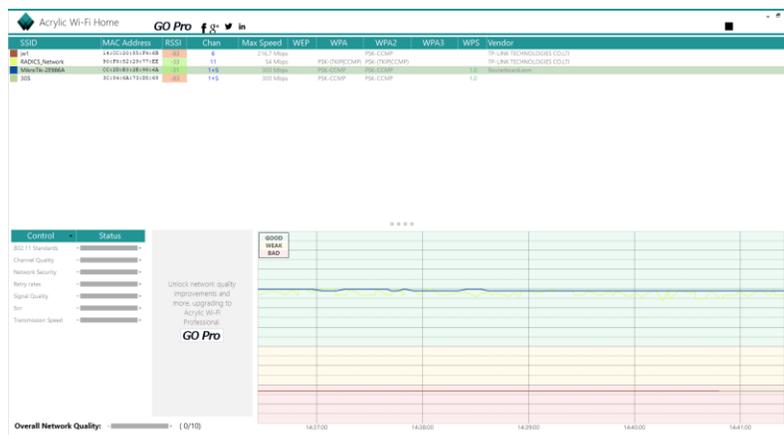


Рисунок 3.6 – Результат роботи програми Acrylic WiFi Home

SSID – ім'я безпроводової мережі.

Для вимірювання потужності сигналу Wi-Fi використовується показник рівня сигналу, RSSI (англ. *Received signal strength indicator*) – повна потужність прийнятого приймачем сигналу. Вимірюється приймачем в дБм (dBm, децибел щодо 1 мілівата).

RSSI може приймати значення від 0 до -100 дБм. Чим вище значення RSSI (ближче до 0), тим сигнал краще, і чим ближче до -100, тим сигнал гірше. Якісним

сигналом Wi-Fi можна вважати значення не нижче -65 дБм. При більш низькій потужності вже буде спостерігатися зниження швидкості підключення, втрата пакетів, повторні передачі даних (ретрансміти).

Ось приблизні значення відповідності сили сигналу Wi-Fi і його якості:

- ✓ Відмінні показники: від -35 до -50 дБм
- ✓ Хороші показники: від -50 до -65 дБм
- ✓ Задовільні показники: від -65 до -75 дБм
- ✓ Погані показники: від -75 до -85 дБм
- ✓ Неприйнятні значення: від -85 до -100 дБм

Channel – номер каналу, на якому працює безпроводова мережа. Іноді в Channel відображається два канали (наприклад, 1 + 5). Це пов'язано з тим, що на стандарті 802.11n використовується ширина каналу 40 МГц. При використанні ширини каналу 20 МГц відображається один безпроводовий канал.

Рекомендуємо вибирати безпроводовий канал, на якому працює найменша кількість інших мереж.

Security – тип безпеки.

Vendor – виробник пристрою.

3.3 Вибір безпроводової точки доступу

Переваги та недоліки 5GHz маршрутизаторів:

До основних плюсів Wi-Fi роутерів, які працюють на частоті 5 GHz, можна віднести наступні:

- ✓ наявність більшої кількості непересічних каналів безпроводової мережі в порівнянні з 2,4 GHz;
- ✓ невелика кількість пристроїв, що підтримують дану частоту, навіть в багатоквартирних будинках;
- ✓ відсутність перешкод і короточасних переривань сигналу;

- ✓ наявність можливості підтримки каналів на ширині 20/40/80 мГц;
- ✓ більшість таких роутерів є дводіпазонними: можуть роздавати одночасно дві Wi-Fi мережі як на частоті в 5 GHz, так і 2,4 GHz;
- ✓ підвищення швидкості до 1300 Мб/с при використанні обладнання, що працює на стандарті 802.11ac (в залежності від можливостей провайдера).

Мінусів у цій технології менше, але на них варто зупинитися докладніше.

На частоті в 5 GHz можуть працювати далеко не всі пристрої: дуже багато моделей ноутбуків, планшетів і смартфонів, випущених кілька років тому, до того, як робота на таких частотах набула широкого поширення, просто не бачитимуть шукану мережу в списку доступних. Те ж саме стосується і деяких бюджетних моделей сучасних безпроводових пристроїв.

Загасання хвилі на цій частоті відбувається швидше, ніж у мереж з підтримкою 2,4 GHz, тому площа охоплення буде менше. Цікаво, що цей недолік легко можна вважати суттєвим плюсом в густонаселених будинках: сусідам може бути просто недоступний сигнал Wi-Fi мережі в діапазоні 5 GHz, це підвищує безпеку мережі, а сигнали з розташованих неподалік пристроїв не будуть перетинатися. В середньому ж площа покриття безпроводової мережі в цьому діапазоні буде становити менше 40 квадратних метрів.

На жаль, більшість сучасних 5 GHz маршрутизаторів, що підтримують стандарт зв'язку 802.11ac мають досить високою вартістю. Але в останні роки спостерігається тенденція до зниження цін і появи на ринку більш дешевих пристроїв, в першу чергу це пов'язано з виходом на ринок моделей популярних китайських виробників.

Отже, дводіпазонний роутер буде оптимальним рішенням, він допоможе налагодити стабільну роботу Wi-Fi мережі, більшість моделей мають гнучкі настройки і можливість підключення великої кількості безпроводових пристроїв без втрати якості сигналу.

Щоб правильно підібрати роутер, який ще й прослужить довго, необхідно придивлятися до апаратів, які випускають перевірені виробники. Нижче наведено перелік фірм, які створюють якісне обладнання.

1. *TP-Link* – компанія, яка з 2005 року обіймає своє місце на міжнародній арені. Постачає якісний продукт і має досвід у виробництві більше 20 років. Роутери від TP-Link виділяються набором різноманітних додаткових функцій, наприклад, «гостьовий режим», «батьківський контроль».

2. *Asus* – в компанії уважно стежать за розвитком технологій і успішно впроваджують новинки в свої продукти. Завдяки фірмовому софту девайси цієї марки легко і швидко налаштовуються. Є й інші цікаві фішки, наприклад, утиліта AirPlayer, яка передбачена в моделях з USB. Вона призначена для трансляції контенту з підключеного до роутера зовнішнього накопичувача. Крім іншого варто відзначити високий рівень захисту від сторонніх підключень.

3. *D-Link* – оптимальний варіант для тих, кому потрібен недорогий девайс, який здатний забезпечити якісне і безпечне підключення. Висока швидкість і можливість її розподілу по пристроях всередині мережі, а також інші корисні опції роблять використання роутерів фірми комфортним.

4. *Tenda* – бренд з двадцятирічним стажем. Три причини звернути увагу на її продукцію: простота використання, гідна продуктивність і надійний захист підключення.

За відгуками користувачів було прийнято рішення розглянути обладнання фірми D-Link. За основні критерії було взято наступні характеристики:

- ✓ Швидкість прийому, Wi-Fi, ГГц;
- ✓ Відповідність стандарту Wi-Fi;
- ✓ Швидкість роботи, Мбит/с;
- ✓ Кількість USB-портів;
- ✓ Кількість LAN-роз'ємів.

У результаті проведення аналізу існуючого мережевого обладнання (D-Link DIR-806A, D-Link DIR-815/AC, D-Link DAP-3662) було обрано безпроводову точку доступу D-Link DAP-3662, адже вона є оптимальним рішенням за відношенням ціна/продуктивність для створення зон «hot spot» та задовольняє переліку наступних вимог:

Високошвидкісне безпроводове з'єднання

DAP-3662 забезпечує надійне безпроводове з'єднання на швидкості до 300 Мбіт/с в частотному діапазоні 2,4 ГГц і до 866 Мбіт/с в діапазоні 5 ГГц. Завдяки даній можливості, а також підтримці функції Wi-Fi Multimedia™ (WMM) Quality of Service (QoS) точка доступу DAP-3662 є ідеальним рішенням для передачі аудіо-, відео- і голосових додатків. Включена функція QoS дозволяє точці доступу DAP-3662 автоматично пріоритезувати мережевий трафік відповідно до рівня інтерактивної потокової передачі, наприклад, HD-відео або VoIP. Функцію QoS можна відрегулювати через Web-інтерфейс точки доступу DAP-3662 за допомогою меню, що розкривається для вибору призначених для користувача правил пріоритетів. Крім того, DAP-3662 підтримує функцію балансування навантаження для забезпечення максимальної продуктивності за рахунок обмеження кількості користувачів на точку доступу.

Використання поза приміщеннями

Точка доступу DAP-3662 виконана у стійкому корпусі, який відповідає стандарту IP68 і забезпечує захист від пилу та вологи. Завдяки підтримці безпроводового стандарту 802.11ac і потужним антенам точку доступу можна розміщувати практично в будь-якому зручному для користувача місці, де необхідно організувати зону покриття безпроводової мережі.

Безпека

Для забезпечення високого рівня захищеності безпроводової мережі DAP-3662 підтримує обидві версії стандартів WPA і WPA2 (802.11i), а також внутрішній RADIUS-сервер, який дозволяє створювати облікові записи

користувачів в самому пристрої. Дана точка доступу також підтримує фільтрацію по MAC-адресами, сегментацію безпроводової мережі, функцію заборони мовлення SSID, виявлення несанкціонованих точок доступу і функцію мовлення безпроводової мережі за розкладом. DAP-3662 підтримує до 8 SSID на частотний діапазон, що дозволяє використовувати кілька VLAN для сегментації користувачів в мережі. Також в точці доступу реалізований механізм ізоляції безпроводового клієнта, який обмежує пряму взаємодію типу "клієнт-клієнт". Крім того, DAP-3662 підтримує Network Access Protection (NAP), функцію Windows Server® 2008, що дозволяє мережевим адміністраторам задати кілька рівнів мережевого доступу, виходячи з потреб кожного клієнта.

Кілька режимів роботи

Для забезпечення максимальної окупності витрат можна налаштувати DAP-3662 в одному з наступних режимів роботи: точка доступу, Wireless Distribution System (WDS) з точкою доступу, WDS/Mіст (No AP Broadcast), безпроводовий клієнт. Завдяки підтримці WDS мережеві адміністратори можуть встановити кілька точок доступу DAP-3662 і налаштувати їх на роботу один з одним в режимі моста, одночасно забезпечуючи доступ до мережі окремим клієнтам. DAP-3662 також підтримує розширені функції, такі як балансування навантаження і резервування для безвідмовної роботи безпроводового з'єднання.

Багатофункціональність

DAP-3662 дозволяє мережевим адміністраторам створити керовану і надійну безпроводову мережу з оптимальним покриттям як в частотному діапазоні 2,4 ГГц (802.11b, 802.11g і 802.11n), так і в діапазоні 5 ГГц (802.11a, 802.11n і 802.11ac). Точка доступу DAP-3662 підтримує стандарт 802.3af *Power over Ethernet*, що дозволяє встановити цей пристрій в місцях, де недоступні розетки живлення.

Мережеве управління

Мережеві адміністратори володіють декількома можливостями для управління точками доступу DAP-3662, включаючи Web-інтерфейс (HTTP), *Secure*

Socket Layer (SSL, який забезпечує безпечне з'єднання з Web-інтерфейсом), *Secure Shell* (SSH, який забезпечує безпечний канал між точкою доступу і віддаленим комп'ютером) і *Telnet*. Для розширеного мережевого управління адміністратори можуть використовувати *D-Link Central WiFiManager*, за допомогою якого можна налаштувати і керувати кількома точками доступу з одного комп'ютера. Крім стандартних опцій управління, *D-Link Central WiFiManager* дозволяють мережевим адміністраторам віддалено здійснювати перевірку обладнання, виключаючи необхідність особистого контролю будь-яких операцій.

Крім того, *DAP-3662* підтримує функцію безпроводового планувальника, який вимикає функціонал безпроводової мережі, коли це необхідно, заощаджуючи електроенергію. Завдяки підтримці PoE, високій керованості, кільком режимам роботи і надійним функціям безпеки, точка доступу *DAP-3662* є ідеальним рішенням, що дозволяє створити безпроводову мережу на великих підприємствах і підприємствах малого та середнього бізнесу. [10]



Рисунок 3.7 Безпроводова точка доступу D-Link DAP-3662

Визначимо дальність роботи каналу зв'язку при використанні безпроводової точки доступу *D-Link DAP-3662*.

Вхідні дані:

- потужність передавача P_t , дБм = 26 дБм.
- коефіцієнт підсилення антени передавача, G_t , дБи = 6 дБи.
- коефіцієнт підсилення антени приймача G_r , дБи = 4 дБи.
- чутливість приймача P_{min} , дБм = -75 дБм.

Визначимо сумарне підсилення за формулою $Y_{\text{дБ}} = Pt + Gt + Gr - P_{\text{min}} - Lt - Lr$, де Lt , дБ – втрати у коаксіальному кабелі та роз'ємах передаючого тракту Lr , дБ – втрати у коаксіальному кабелі та роз'ємах приймаючого тракту. Дані параметри необхідно враховувати лише при підключенні зовнішніх антен. В наших розрахунка їми можна знехтувати.

$$Y_{\text{дБ}} = 26 + 6 + 4 - (-75) = 111 \text{ дБ.}$$

Визначимо втрати у вільному просторі:

$FSL = Y_{\text{дБ}} - SOM$, де SOM (System Operating Margin) – запас в енергетиці радіозв'язку, який враховує можливі фактори, що негативно впливають на дальність зв'язку, такі як: температурний дрейф чутливості приймача і вихідної потужності передавача; всілякі атмосферні явища: туман, сніг, дощ; неузгодженість антени, приймача, передавача з антенно-фідерним трактом.

Параметр SOM зазвичай береться рівним 10 дБ. Вважається, що такий запас по посиленню достатній для інженерного розрахунку.

$$FSL = 111 - 10 = 101 \text{ дБ.}$$

$$F = 5455 \text{ МГц.}$$

Отже, шукана відстань визначається за формулою $D = 10^{\frac{FSL - 33}{20}} \lg F$:

$$\text{Отже, } D = 126 \text{ м.}$$

Отриманий результат задовольняє поставленим вимогам та підтверджує правильність вибору мережевого обладнання.

3.4 Узагальнені рекомендації щодо проектування та побудови безпроводової мережі стандарту 802.11 ac

При вирішенні задачі побудови безпроводової мережі стандарту 802.11 ac з метою отримання якісного надання послуг користувачам необхідно враховувати особливості даного стандарту та виконати наступні рекомендації:

- ✓ визначити кількість клієнтів, що очікується у запланованій мережі (AP 802.11ac може обслуговувати близько 30–60 клієнтів із прийнятним сервісом, залежно від програми);
- ✓ визначити тип пристроїв користувачів (оцінка пікової швидкості передачі даних, що підтримуватиме кожен клієнт);
- ✓ визначити ключові програми, які повинні підтримуватися в мережі (оцінка виду пріоритетного трафіку);
- ✓ визначити технічні можливості підєднання до мережі живлення (для повної функціональності повинно бути PoE + живлення);
- ✓ визначити архітектурну модель мережі (оцінка можливість централізованого управління мережею);
- ✓ визначити обладнання, що відповідає вимогам запланованої мережі (продуктивності, функціональності та сумісності – сертифіковане Wi-Fi Alliance);
- ✓ із застосуванням програмних засобів провести попереднє моделювання мережі з метою оцінки її працездатності;
- ✓ провести необхідні технічні роботи для побудови мережі (безпосередній монтаж обладнання);
- ✓ із застосуванням програмних засобів провести моніторинг основних характеристик побудованої мережі з метою її оптимального налаштування (процес моніторингу мережі включає в себе спостереження за умовами, що дозволяє уникнути неякісного обслуговування, і, якщо можливо, застосування нових конфігурацій до мережевих пристроїв з метою підвищення продуктивності та функціональності).

3.5 Висновок за розділом 3

З урахуванням технічних характеристик стандарту 802.11ac у даному розділі було обране мережеве обладнання, а саме безпроводову точку доступу D-Link

DAP-3662. Вона дозволяє побудувати мережу типу «точка доступу» або hot-spot в діапазоні 5 ГГц, що в свою чергу є значною перевагою, адже діапазон 2,4 ГГц стає усе більш завантаженим унаслідок поширення безпроводових мереж.

Було проведено аналіз програмного забезпечення для роботи із безпроводовими мережами, та обрано оптимальне за функціоналом і можливістю безкоштовного використання: Wi-Fi сканер Acrylic Wi-Fi Home та картографічний програмний інструмент Ekahau Heat Mapper.

За допомогою програмного інструменту Ekahau Heat Mapper виконано попередній аналіз зони покриття та визначення оптимального місця розташування установки точки доступу.

За допомогою Acrylic Wi-Fi Home виконано сканування мережі, з метою отримання інформації про рівень сигналу та рівень захисту мережі.

Проведено розрахунок дальність роботи каналу зв'язку при використанні безпроводової точки доступу D-Link DAP-3662.

За результатами проведеної роботи було сформовано узагальнені рекомендації щодо розгортання безпроводової мережі стандарту 802.11ac з метою максимально ефективного забезпечення вимог користувача.

ВИСНОВОК

Порівнюючи проводові та безпроводові мережі зв'язку, можна відзначити перелік переваг останніх, а саме:

- вільне пересування користувача в зоні покриття безпроводових локальних мереж, зберігаючи доступ до інформаційних ресурсів;

- можливість розгортання безпроводової локальної мережі у випадках, коли прокладання кабельної мережі є ускладненим або взагалі неможливим процесом;

- висока швидкість розгортання безпроводових локальних мереж;

- близька до нуля вартість експлуатації безпроводових локальних мереж.

Але як і в усіх системах, існують і недоліки безпроводових локальних мереж, до яких відносять:

- низьку безпеку і захищеність даних мереж Wi-Fi;

- досить високе споживання енергії, що зменшує час життя батареї і підвищує температуру пристрою.

Фахівці комітету IEEE 802.11 пропонують перелік технологічних рішень для усунення недоліків безпроводових мереж зв'язку. Тому вивчення та застосування нових специфікації стандарту 802.11 дозволяють будувати більш якісні мережі.

А саме розглянутий у роботі 802.11ac працює в діапазоні 5 ГГц, що менш заповнений завадами та забезпечує вищу швидкість в порівнянні з діапазоном 2,4 ГГц, застосовує технологію MU-MIMO, що дає можливість одночасної трансляції декількох потоків даних та технологію Beamforming (формування спрямованого сигналу, динамічне змінювання діаграми спрямованості антен), передбачає об'єднання декількох каналів шириною до 160 МГц. Підвищена пропускна здатність технології 802.11ac дозволяє швидше завантажити необхідну інформацію, після чого контролер безпроводової мережі знаходиться в «сплячому» режимі з метою зменшення енергоспоживання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Комп'ютерна мережа. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%BF%27%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B6%D0%B0>
2. Еволюція обчислювальних мереж. – Режим доступу: <https://intuit.ru/studies/courses/1/1/lecture/2>
3. Беспроводные локальные сети – WLAN (Часть 1). – Режим доступу: <https://f.ua/articles/besprovodnye-lokalnye-seti---wlan-chast-1.html>
4. Wi-Fi 5 to identify devices that support 802.11ac technology. – Режим доступу: <https://www.wi-fi.org/news-events/newsroom/wi-fi-alliance-introduces-wi-fi-6>
5. Стандарт 802.11ac Wave 2: MU-MIMO и другие возможности. – Режим доступу: <https://weblance.com.ua/296-standart-80211ac-wave-2-mu-mimo-i-drugie-vozmozhnosti-samyu-polnyu-faq-po-novomu-standartu.html>
6. WiFi Advanced-Next Generation WLAN – Qualcomm. – Режим доступу: <https://www.qualcomm.com/>
7. Performance comparison of IEEE 802.11n and IEEE 802.11ac/ Adian Fatchur Rochim, Riri Fitri Sari. – Режим доступу: <https://www.researchgate.net/publication/314106220>
8. 802.11ac: A Survival Guide / Matthew S. Gast / Published by O'Reilly Media, Inc., 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA 95472/ISBN: 978-1-449-34314-9
9. 9 бесплатных программ для сканирования и анализа WiFi-сетей. – Режим доступу: <https://networkguru.ru/9-besplatnykh-programm-dlia-skanirovaniia-analizawifi-setei/>

10. DAP-3662 – Режим доступу:
<https://www.dlink.ru/ru/products/2/2027.html>
11. Какие виды Wi-Fi-сетей существуют? – Режим доступу до ресурсу:
<https://wifi-solutions.ru/kakie-vidy-wifi-sushestvyut/>
12. Телекомунікаційні системи та мережі: навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Укладачі : Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017 – 384 с.
13. Положення про організацію освітнього процесу в Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». Затверджене Вченою радою університету 30.04.2020, протокол №12.
14. ДСТУ 3008-2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016, 26 с.
15. Положення про запобігання та виявлення академічного плагіату в освітніх та наукових роботах в Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». Затверджене Вченою радою університету 30.04.2020, протокол №12.

ДОДАТОК А

1 GENERAL CHARACTERISTICS OF WIRELESS LOCAL COMPUTER NETWORKS

1.1 The concept of computer network. Basic concepts and terms

A *computer network* (CN) is a system of communication between two or more computers. In a broader sense, a computer network is a system of communication through a wired or wireless environment, which includes computers for various functional purposes and network equipment.

Different physical phenomena can be used to transmit information, usually different types of electrical signals or electromagnetic radiation. The transmission media in computer networks can be telephone cables and special network cables: coaxial cables, twisted pairs, fiber-optic cables, radio waves, light signals. [1]

CN, also known as the computer network or data network, is the result of combining the two most important scientific and technical branches of modern civilization - computer and telecommunications technology.

On the one hand, CN is a separate component of distributed computing systems, in which a group of computers consistently performs a set of interconnected tasks, exchanging data automatically.

On the other hand, CN can be considered as a means of transmitting information over long distances, using coding and multiplexing methods used in various telecommunications systems. [2]

So,

- computer network is a set of computers connected by a communication system and provided with appropriate software that provides network users with access to the resources of this set of computers;
- the network can be formed by computers of different types - small microprocessors, workstations, mini-computers, personal computers or supercomputers;
- the transmission of messages between any pair of computers on the network is provided by a communication system, which may include cables, repeaters, switches, routers and other network devices;
- computer network allows the user to work with his computer as a standalone, and adds to this the ability to access information and hardware resources of other computers on the network [2].

Computer networks can be classified by territorial purpose, distinguishing between global, local and city networks.

Local area network (LAN) – a computer network that is deployed, usually in a relatively small area or includes a small group of buildings (house, office, company, institute) [1].

The list of typical features of the LAN includes a limited number of network subscribers, limited territory within which subscribers are distributed, and the presence of a telecommunications line between subscribers (nodes).

With the acquisition of modern LAN qualitatively new properties, in comparison with their original purpose, they have undergone changes in the topology of communication lines (in comparison with the topology of the type "bus"); changes in the type of network nodes (along with computers, network nodes can be devices with different types of digital content: video, graphics, telephony, etc.); introduction of interconnection between LAN (including all its nodes) and the backbone network, which is used to interconnect networks for different purposes (in particular, other LANs) in a wired and wireless way.

Wireless LAN (WLAN) differ from wired LAN in that the connection between network nodes is through the use of radio signals. The nodes include transmitting and receiving devices. The environment in which the nodes are located is the environment for the propagation of radio signals.

The relevance and feasibility of using wireless LANs can be described as follows:

- 1) the need to create a LAN between nodes separated by natural and artificial barriers (water barriers, house walls, floors);
 - 2) the need to ensure the mobility of nodes connected to the local network;
 - 3) the need to gain access to the main network with access to the Internet-network in public places of short stay (hotels, railway stations, reading rooms of libraries, etc.)
- (Fig. 1.1) [3].



Figure 1.1 Organization of access to the backbone network with access to the Internet network

1.2 Historical aspects of the formation of WLAN

Consumer demand for WLAN has been projected in all industrialized countries with widespread use of personal computers (PCs) since the early 1970s.

The objective need to ensure the compatibility of WLAN equipment from different manufacturers has led to the need to develop appropriate standards, which were simultaneously carried out by the standardization institutions of the three regions:

- 1) in the USA – the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE);
- 2) in Europe – the European Telecommunications Standards Institute (ETSI);
- 3) in Japan – the Association of Radio Industries and Business (ARIB).

The most popular are the standards developed under the auspices of the IEEE and ETSI [3].

The WLAN standards developed by the IEEE were created by the 802.11 Working Group (WG) of the 802.11 Committee for Standardization in Local and Local Area Network (MAN) networks (802 LAN / MAN Standards Committee). Within the IEEE 802 Committee, the WG 802.11 working group develops WLAN standards, and the relevant standards are known as IEEE 802.11 standards. The original IEEE 802.11 standard was adopted in 1987. In the future, it is continuously supplemented, which corresponds to the version with different letter designations – from a to x.

The WLAN standards developed by ETSI are known as HIPERLAN (High Performance Radio LAN). The development of these standards was carried out almost simultaneously with the IEEE 802.11 standard (one year ahead). Initially, it was planned to develop 4 versions of these standards, but were limited to two versions: HIPERLAN 1 and HIPERLAN2. According to the plan, the WLAN of the HIPERLAN standards, with the use of the frequency resource equivalent to the IEEE 802.11 standard, should have higher data transfer rates. Support for the development of standards was provided by well-known equipment manufacturers, in particular, Ericsson.

However, the process of practical implementation of WLAN (taking into account the current state of the market) has led to the need to choose both developers and standardization bodies only one of the areas of development of wireless network technologies. Networks of the IEEE 802.11 family of standards have appeared in this direction.

The IEEE 802.11 standard meets the equipment of the WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance), known for its widespread brand Wi-Fi Alliance. The role of this Association is to develop an IEEE 802.11 product certification system, making them known as Wi-Fi products. Similar associations of HIPERLAN product manufacturers: the HIPERLAN Alliance and the HIPERLAN2 Global Forum are currently less active. However, it is likely that a complete denial of some of the benefits inherent in HIPERLAN would be impractical and the possibility of their further use is not excluded [3].

1.3 Factors that determine the WLAN architecture

The difference between the architecture of wireless and wired LAN due to the properties of the signal propagation environment:

- directing medium in wired LANs;
- natural environment in wireless LAN.

A common feature of using both environments is that they are Multiple Access (MA) environments.

The signals of different subscribers in terms of their independent operation can be transmitted simultaneously, which leads to the superposition of signals in the environment.

This phenomenon significantly complicates the possibility of their proper reception. In a shared environment, regardless of its physical properties, there may be a collision of signals. Collision avoidance presupposes the coordinated use of the environment, a mandatory component of which is the monitoring of its employment. Access to the signal propagation environment, based on monitoring its employment, is called Carrier Sense Multiple Access (CSMA). LAN (wired and wireless) uses several derivatives of this access method.

Nodes access the signal distribution environment of both types by means of network adapters (Network Interface Card, NIC, Wireless Network Interface Card, WNIC), which perform the functions of the two lower levels of the basic reference model of interaction of open ISO / OSI systems, namely:

- Physical Layer, PHY;
- Data Link Layer, DLL – which controls access to the environment (Media Access Control, MAC).

Network adapters provide monitoring of the environment, coordinated access of various nodes to it, the formation, transmission and reception of signals.

In a conductive medium, which is a two-wire long line, such as a cable, the transmission of signals between nodes is accompanied by a relatively weak attenuation during their propagation. The collision of the signals of two (or more) nodes leads to a significant change in the characteristics of the total signal (primarily the energy level), compared with single signals. Accordingly, each node with the help of NIC can detect the fact of collision of signals in the process of their transmission and take measures to ensure the order of access to the environment of different nodes. The method of ordered multiple access, which reduces the level of collisions in wired environments, is called multiple access with carrier control and collision detection (CSMA / Collision Detection, CSMA / CD). The ability to detect collisions is an inherent property of conductive media.

In a wireless environment, which is the surrounding space with its natural and artificial filling, the signals propagate, attenuating as they move away from the source. Collisions can be detected by checking for errors in the received and processed WNIC digital signal after its transmission. Accordingly, the reaction to the fact of the collision can be carried out with a delay, and it becomes essential to prevent collisions. An appropriate method of multiple access to a wireless environment was developed in preparation for the IEEE 802.11 standard. It is called the method of multiple access with carrier control and collision prevention (CSMA / Collision Avoidance, CSMA / CA) [3].

1.4 Elements of the WLAN architecture

The list of basic elements of the WLAN architecture includes basic service sets, portals and a distribution system. The structure and content of the functions performed by these elements is as follows.

1. Basic Service Sets (BSS) – wireless LAN components that allow their nodes to interact with each other and with other LAN nodes by transmitting signals by electromagnetic waves. The structural components of the BSS are stations (Station, STA) and access points (Access Point, AP).

STA BSS are a set of network nodes and wireless network adapters. A network node is any device that is a source of packet messages (computer, digital phone, etc.). WNIC provides reception and transmission of radio signals (PHY-level), as well as the functions of the MAC-level controller.

AP BSS is a device (entity) that has the properties of STA and provides two functions: coordination of access of BSS stations to the common wireless environment and access of BSS stations to the distribution system.

The need to coordinate the work of BSS stations is due to their use of a common frequency-territorial resource. The area within which communication between BSS stations is provided is called the Basic Service Area (BSA). All BSS stations use one common frequency band for radio signals, and collisions of radio signals from different stations lead to harmful mutual interference, which eliminates the possibility of simultaneous communication of several stations. Communication between BSS stations is carried out in half-duplex mode with signal retransmission (by analogy with radio relay communication) of different STAs. The set of functions performed by STA and AR to ensure the transmission of messages within the BSS, is called the Station Service (Station Service, SS).

If the BSS is autonomous, the AP can provide direct access to the Internet backbone. For this purpose, industrial samples of AR are equipped with a router. [3]

2. Distribution System (DS) is an element of the network that provides messages between different BSS, as well as between BSS and wired LANs in the network. The environment that provides messaging between network segments (wired and wireless) is called the Distribution System Medium (DSM). The set of functions performed by the DS is called the Distribution System Service (DSS). Station services SS and DSS together provide the ability to transfer messages between STAs belonging to different segments of the LAN. An essential feature of DS message transmission is that the transmission protocols are MAC layer protocols, so that stations of different BSS and leading segments interact with each other without going beyond this layer.

The environment of digital network distribution systems located inside buildings is usually leading. The distribution environment of LANs that connect segments that are disconnected over a large area of institutions (such as businesses) can be wireless. The IEEE 802.11 standard has no restrictions on how to implement DSM, as well as the list of ISO / SI protocol stack functions that can be used. In particular, these functions may go beyond the 2nd (channel) level and cover the 3rd (network) level. The latter corresponds to the relationship of the LAN with WAN (Wide Area Network, WAN), in particular, the Internet (in this case, a router can be used). Creating an interface between DS and WAN corresponds to one of the most common applications of Wi-Fi - WLAN – creating "hot spots". [3]

3. Portals are network elements through which wired network segments that operate in accordance with the requirements of wired LAN standards (for example, IEEE 802.3 – Ethernet) are connected to the DS. The portals provide the transmission of messages between wireless and wired network segments in accordance with MAC layer protocols. Connecting the nodes of the leading segments to the DS through portals is called their integration into the network. Due to the transmission of messages in accordance with the protocols of one layer (MAC layer), the nodes of all network segments, wired and wireless, are logically equivalent.

The set of all BSS networks and integrated wired segments (local area networks) is called the Extended Service Set (ESS). The area as occupied by the ESS elements is called the Extended Service Area (ESA). The maximum number of ESS nodes is not regulated by the IEEE 802.11 standard. ESS infrastructure: its distribution system, access points, portals, interface with WAN – created by the operator (provider) ESS. The network must provide, first, the interconnection between all nodes that are part of the wired and wireless segments, and, secondly, the connection with the nodes of the WAN (if such a connection is provided).

The uniqueness of the identification of network nodes in the transmission of messages between them is provided by the adopted system of coding of network elements.

There are 3 types of element identifiers:

- ESS identifier (Service Set Identification, SSID), which is the name of the ESS, consisting of 32 letters and numbers (alphanumeric) characters;
- BSS identifier (Basic Service Set Identification, BSSID), which coincides with the MAC address of the access point of the corresponding BSS;
- ST STA identifier, which coincides with the MAC address of the considered station.

MAC addresses are provided by the AP and STA according to generally accepted rules: the first three bytes of the address are used to indicate the manufacturer's NIC, and the three remain to indicate the NIC number. Network identifiers (SSIDs) are defined by their operators and, of course, are the text "network name". All ESS stations must have the right to use its telecommunications resources. SSIDs are used for initial (initial) verification of subscribers' rights to work in ESS [3].

The performance characteristics of the network are determined by the specification of the above-mentioned IEEE 802.11 standard, which will be discussed in more detail in the second section of the thesis.

1.5 Conclusion to section 1

The development of data transmission technologies is an urgent issue today, because it covers all areas of our lives. One of the main requirements is the ability of the end user to access different networks from different types of devices. Wireless networks allow you to work much more productively and do not restrict the user. And the application of modern standards of wireless networks will make them much more efficient in terms of data rate and the number of subscribers who use them.

This thesis will consider the application of the IEEE 802.11ac standard, as it allows you to increase network bandwidth and reduce power consumption of devices using the network.

ДОДАТОК А

ДЕМОНСТРАЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки
Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

НА ТЕМУ: **Проектування безпроводової локальної мережі на основі стандарту IEEE 802.11ac**

Виконав: студент групи 401-ТТ Пугач І.О.
Керівник: Обіход Я.Я

Полтава 2021

ТЕМА: Проектування безпроводової локальної мережі на основі стандарту IEEE 802.11ac

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ: *Метою даної кваліфікаційної роботи є підвищення якості надання послуг безпроводовою локальною мережею за рахунок вивчення та впровадження стандарту 802.11 ac.*

ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ: специфікація стандарту безпроводових локальних мереж 802.11 ac.

ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ: методи підвищення якості передачі по безпроводових каналах за рахунок використання сучасних специфікацій стандарту IEEE 802.11.

Розділ 1

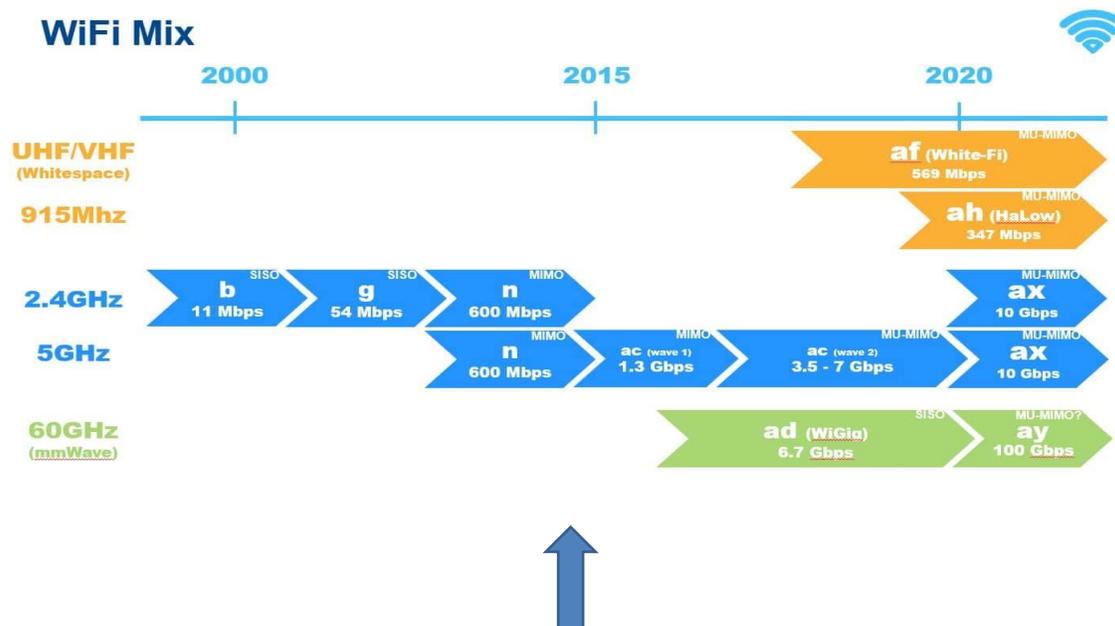
ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА БЕЗПРОВОДОВИХ ЛОКАЛЬНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ МЕРЕЖ



Організація доступу до магістральної мережі з виходом в Internet-мережу

IEEE 802.11ac — стандарт бездротових локальних мереж Wi-Fi на частотах 5-6 ГГц. Якщо обидва пристрої підтримують цю технологію, то швидкість обміну даними може бути більшою за 1 Гбіт/с (до 6 Гбіт/с 8x MU-MIMO). Стандарт передбачає використання до 8 антен MU-MIMO та розширення каналу до 80 або 160 МГц.

Розділ 2 АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК СІМЕЙСТВА СТАНДАРТІВ 802.11



Еволюція розвитку стандарту безпроводових мереж IEEE 802.11

Відмінності між 802.11n та 802.11ac

802.11n	802.11ac
Підтримує канали 20 і 40 МГц	Додає канали 80 та 160 МГц
Підтримує смуги частот 2,4 ГГц та 5 ГГц	Підтримує лише 5 ГГц
Підтримує BPSK, QPSK, 16-QAM та 64-QAM	Додає 256-QAM
Підтримує багато типів явного формування променя	Підтримує 1 тип явного формування променя лише для нульового пакету даних (null data packet, NDP)
Підтримує до чотирьох просторових потоків	Підтримує до восьми просторових потоків (AP); клієнтські пристрої до чотири просторових потоків
Підтримує лише однокористувацьку MIMO передачу	Додає багатокористувацьку передачу MU-MIMO
Включає значні вдосконалення MAC (A-MSDU, A-MPDU)	Підтримує подібні вдосконалення MAC, з розширеннями для забезпечення високої швидкості передачі даних

На даному слайді наведено порівняння двох стандартів для наглядності пріоритету новішого стандарту.

Діапазон робочих частот для 802.11ac.

На відміну від 802.11n, який працював у всіх неліцензійних смугах спектру, виділених безпроводовим локальним мережам, 802.11ac обмежений лише роботою 5 ГГц діапазону. Він недоступний у діапазоні 2,4 ГГц.

2,4 ГГц	5 ГГц
802.11	802.11a
802.11b	802.11n
802.11g	802.11ac
802.11n	

Стандарти 802.11, що функціонують у смугах 2,4 ГГц та 5 ГГц

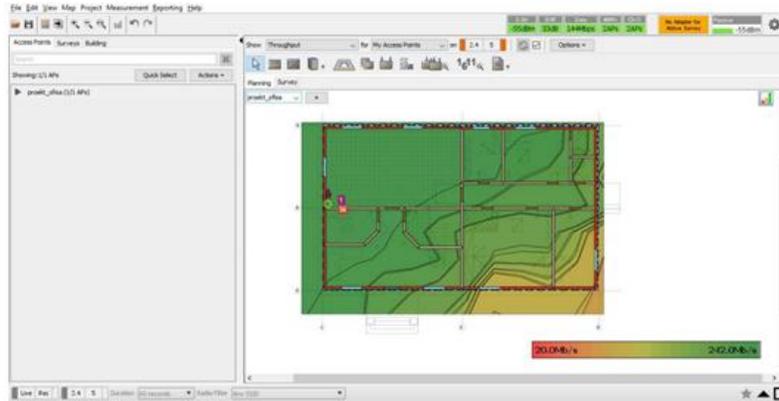
Рішення зупинити роботу специфікації 802.11ac у діапазоні 2,4 ГГц часто є джерелом запитань у користувачів, які сподівалися, що 802.11ac різко покращить продуктивність старих пристроїв на 2,4 ГГц. Але існує обґрунтоване технічне пояснення того, чому 802.11n є «червоною лінією» для спектру 2,4 ГГц.

Спектр на 5 ГГц набагато чистіший, оскільки немає перешкод від Bluetooth, мікрохвильових печей, безпроводових телефонів 2,4 або будь-якого з безлічі випадкових пристроїв, які забруднюють смугу 2,4 ГГц.

Розділ 3

ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ БЕЗПРОВОДОВОЇ ЛОКАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ СТАНДАРТУ 802.11 ac

EkaHau Heat Mapper Це картографічний програмний інструмент для розгортання невеликих безпроводових мереж рівня будинку і визначення оптимального місця розташування установки точки доступу. Вікно програми зображено на рисунку нижче.

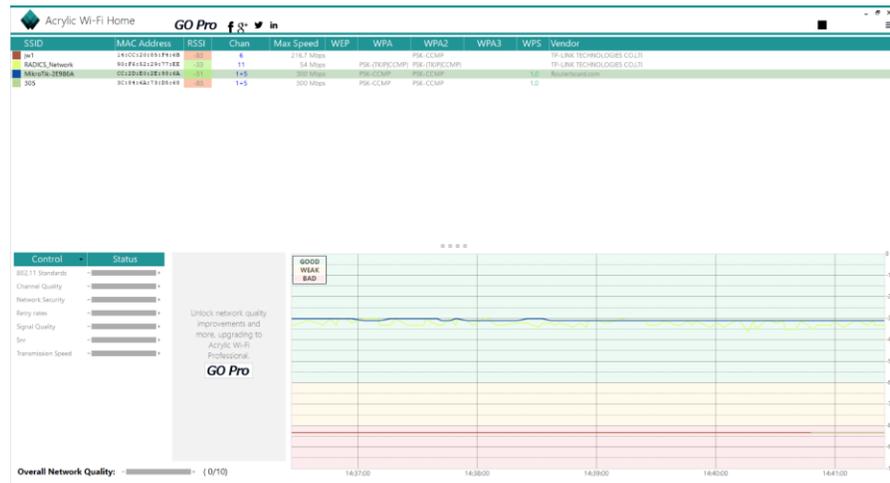


Після отримання колірної карти необхідно було зіставити кольорове зображення з числовим характеристикам сили сигналу.

1. Яскраво-червоний – 75-80dBm.
2. Червоний – 70-75dBm.
3. Помаранчевий – 65-70dBm.
4. Жовто-зелений – 60-65dBm.
5. Світло-зелений – 45-60dBm.
6. Яскраво-зелений > – 45dBm.

За результатами роботи програми можна зробити висновок, що рівень сигналу достатній на всій запланованій площі.

Acrylic WiFi Home За допомогою Acrylic Wi-Fi Home можна сканувати доступні безпроводові мережі, з метою отримання інформації про рівень захисту тієї чи іншої мережі, а також список Wi-Fi паролів за замовчуванням завдяки вбудованій системі плагінів, в тому числі і для мереж стандарту 802.11ac.



Результат роботи програми Acrylic WiFi Home

Для вимірювання потужності сигналу Wi-Fi використовується показник рівня сигналу, RSSI (англ. *Received signal strength indicator*) – повна потужність прийнятого приймачем сигналу.

RSSI може приймати значення від 0 до -100 дБм. Чим вище значення RSSI (ближче до 0), тим сигнал краще, і чим ближче до -100, тим сигнал гірше. Якісним сигналом Wi-Fi можна вважати значення не нижче -65 дБм. При більш низькій потужності вже буде спостерігатися зниження швидкості підключення, втрата пакетів, повторні передачі даних (ретрансміти).

За відгуками користувачів було прийнято рішення розглянути обладнання фірми D-Link. За основні критерії були узяті наступні характеристики:

- Швидкість прийому, Wi-Fi, ГГц;
- Відповідність стандарту Wi-Fi;
- Швидкість роботи, Мбит/с;
 - Кількість USB-портів;
 - Кількість LAN-роз'ємів.



Безпроводова точка доступу D-Link DAP-3662

Визначимо дальність роботи каналу зв'язку при використанні безпроводової точки доступу D-Link DAP-3662. Вхідні дані:

- потужність передавача P_t , дБм = 26 дБм.
- коефіцієнт підсилення антени передавача, G_t , дБі = 6 дБі.
- коефіцієнт підсилення антени приймача G_r , дБі = 4 дБі.
- чутливість приймача P_{min} , дБм = -75 дБм.

Визначимо сумарне підсилення за формулою , $Y_{\text{дБ}} = Pt + Gt + Gr - P_{\text{min}} - Lt - Lr$ де Lt , дБ – втрати у коаксіальному кабелі та роз'ємах передаючого тракту Lr , дБ – втрати у коаксіальному кабелі та роз'ємах приймаючого тракту. Дані параметри необхідно враховувати лише при підключенні зовнішніх антен. В наших розрахунка їми можна знехтувати.

$$Y_{\text{дБ}} = 26 + 6 + 4 - (-75) = 111 \text{ дБ.}$$

Визначимо втрати у вільному просторі:

$FSL = Y_{\text{дБ}} - SOM$, де SOM (System Operating Margin) – запас в енергетиці радіозв'язку, який враховує можливі фактори, що негативно впливають на дальність зв'язку, такі як: температурний дрейф чутливості приймача і вихідної потужності передавача; всілякі атмосферні явища: туман, сніг, дощ; неузгодженість антени, приймача, передавача з антенно-фідерним трактом.

Параметр SOM зазвичай береться рівним 10 дБ. Вважається, що такий запас по посиленню достатній для інженерного розрахунку.

$$FSL = 111 - 10 = 101 \text{ дБ.}$$

$$F = 5455 \text{ МГц.}$$

Отже, шукана відстань визначається за формулою :

$$D = 10^{\frac{FSL - 33}{20}} \lg F$$

$$\text{Отже, } D = 126 \text{ м.}$$

Отриманий результат задовольняє поставленим вимогам та підтверджує правильність вибору мережевого обладнання.

Висновки

Висновок до розділу 1

Розвиток технологій передачі даних є актуальним питанням на сьогодні, адже він охоплює усі сфери нашого життя. Однією із основних вимог є можливість кінцевого користувача отримувати доступ до різних мереж з різних типів пристроїв. Безпроводові мережі дозволяють працювати набагато продуктивніше та не обмежують користувача. А застосування сучасних стандартів безпроводових мереж дозволить зробити їх значно ефективнішими за показниками швидкості передачі даних та кількістю абонентів, що ними користуються. В даній дипломній роботі передбачено розглянути особливості застосування IEEE 802.11ac стандарту, оскільки він дозволяє розширити пропускну здатність мережі та зменшити енергоспоживання пристроїв, що використовують мережу.

Висновки до розділу 2

В даному розділі досліджено особливості стандарту 802.11ac. Визначено основні відмінності та нововведення в організації стандарту в порівнянні з 802.11n, а саме:

1. Безпроводова мережа стандарту 802.11ac працює в діапазоні 5 ГГц, що менш заповнений завадами та забезпечує вищу швидкість і в порівнянні з діапазоном 2,4 ГГц.
2. Завдяки технології MU-MIMO маршрутизатори стандарту використовують всі антени (кожне клієнтське обладнання працює з максимальною продуктивністю), що дає можливість одночасної трансляції декількох потоків даних.
3. Технологія Beamforming (формування спрямованого сигналу, динамічне змінювання діаграми спрямованості антен) не тільки покращує поширення сигналу на відкритій території, але також допомагає при проходженні крізь завади.
4. Для досягнення більш високої пропускну здатності стандарт 802.11ac передбачає об'єднання декількох каналів шириною до 160 МГц, в той час, коли в безпроводових мережах стандарту 802.11n ширина каналу складає 40 МГц.
5. Маршрутизатор 802.11ac підтримує як нові, так і попередні стандарти зв'язку, що дозволяє використовувати старі пристрої без будь-яких обмежень.

В сукупності всі ці нововведення дозволяють отримати пропускну здатність в 3500 Мбіт/с, що майже в 6 раз перевищує можливості стандарту 802.11n (600 Мбіт/с). Доступні у продажу 802.11ac – маршрутизатори забезпечують номінальну швидкість передавання даних в 1300 Мбіт/с та допускають, що паралельно буде використовуватись безпроводова мережа стандарту 802.11n (450 Мбіт/с) без будь-якого взаємного негативного впливу.

Висновок за розділом 3

З урахуванням технічних характеристик стандарту 802.11ac у даному розділі було обране мережеве обладнання, а саме безпроводову точку доступу D-Link DAP-3662. Вона дозволяє побудувати мережу типу «точка доступу» або hot-spot в діапазоні 5 ГГц, що в свою чергу є значною перевагою, адже діапазон 2,4 ГГц стає усе більш завантаженим унаслідок поширення безпроводових мереж.

Було проведено аналіз програмного забезпечення для роботи із безпроводовими мережами, та обрано оптимальне за функціоналом і можливістю безкоштовного використання: Wi-Fi сканер Acrylic Wi-Fi Home та картографічний програмний інструмент Ekahau Heat Mapper.

За допомогою програмного інструменту Ekahau Heat Mapper виконано попередній аналіз зони покриття та визначення оптимального місця розташування установки точки доступу.

За допомогою Acrylic Wi-Fi Home виконано сканування мережі, з метою отримання інформації про рівень сигналу та рівень захисту мережі.

Проведено розрахунок дальність роботи каналу зв'язку при використанні безпроводової точки доступу D-Link DAP-3662.

За результатами проведеної роботи було сформовано узагальнені рекомендації щодо розгортання безпроводової мережі стандарту 802.11ac з метою максимально ефективного забезпечення вимог користувача.

ВИСНОВОК

Порівнюючи проводові та безпроводові мережі зв'язку, можна відзначити перелік переваг останніх, а саме:

- вільне пересування користувача в зоні покриття безпроводових локальних мереж, зберігаючи доступ до інформаційних ресурсів;
- можливість розгортання безпроводової локальної мережі у випадках, коли прокладання кабельної мережі є ускладненим або взагалі неможливим процесом;
- висока швидкість розгортання безпроводових локальних мереж;
- близька до нуля вартість експлуатації безпроводових локальних мереж.

Але як і в усіх системах, існують і недоліки безпроводових локальних мереж, до яких відносять:

- низьку безпеку і захищеність даних мереж Wi-Fi;
- досить високе споживання енергії, що зменшує час життя батареї і підвищує температуру пристрою.

Фахівці комітету IEEE 802.11 пропонують перелік технологічних рішень для усунення недоліків безпроводових мереж зв'язку. Тому вивчення та застосування нових специфікації стандарту 802.11 дозволяють будувати більш якісні мережі.

А саме розглянутий у роботі 802.11ac працює в діапазоні 5 ГГц, що менш заповнений завадами та забезпечує вищу швидкість в порівнянні з діапазоном 2,4 ГГц, застосовує технологію MU-MIMO, що дає можливість одночасної трансляції декількох потоків даних та технологію Beamforming (формування спрямованого сигналу, динамічне змінювання діаграми спрямованості антен), передбачає об'єднання декількох каналів шириною до 160 МГц. Підвищена пропускна здатність технології 802.11ac дозволяє швидше завантажити необхідну інформацію, після чого контролер безпроводової мережі знаходиться в «сплячому» режимі з метою зменшення енергоспоживання.

Дякую за увагу!