

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
Факультет електроніки

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра звукотехніки та реєстрації інформації

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»  
УДК 621.397

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри

Г.Г. Власюк

(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” 2018 р.

## Магістерська дисертація

зі спеціальності (спеціалізації) 171 «Електроніка»

(код і назва спеціальності)

на тему: «Дослідження шляхів удосконалення технологій передавання мультимедійного контенту через Wi-Fi мережу».

Виконала студентка II курсу, групи ДВ-71мп

(шифр групи)

Піддубцева Уляна Володимирівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник професор, д.т.н, проф., Власюк Г. Г.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант \_\_\_\_\_

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет \_\_\_\_\_ електроніки \_\_\_\_\_  
(повна назва)

Кафедра \_\_\_\_\_ звукотехніки та реєстрації інформації \_\_\_\_\_  
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) 171 «Електроніка» («Електронні та інформаційні технології кінематографії та аудіовізуальних систем»)  
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Г.Г. Власюк \_\_\_\_\_  
(підпис) (ініціали, прізвище)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

Піддубцевій Уляні Володимирівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Дослідження шляхів удосконалення технологій передавання мультимедійного контенту через Wi-Fi мережу  
науковий керівник дисертації Власюк Ганна Григорівна, професор, д.т.н.,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «07» листопада 2018р. №4114-с

2. Строк подання студентом дисертації 10.12.2018р.

3. Об'єкт дослідження Wi-Fi мережа з можливістю передавання відеоконтенту

4. Предмет дослідження (Вихідні дані – для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою) вплив параметрів мережі Wi-Fi та режимів її роботи на передавання аудіовізуального контенту

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: проаналізувати особливості стандартів 802.11 та визначити їх недоліки під час передавання відеоданих; дослідити особливості передавання відео в мережі Wi-Fi та

з'ясувати проблеми, які виникають під час передавання відеоданих в Wi-Fi мережах; проаналізувати особливості стандартів 802.11ac та 808.11ax, які впливають на підвищення пропускну здатності мережі; експериментально дослідити пропускну здатність Wi-Fi мережі стандарту 802.11ac в різних режимах роботи та з'ясувати можливості передавання відеоконтенту на прикладі мережі невеликого офісу

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу 14 слайдів презентації (загальна характеристика роботи, недоліки стандартів 802.11a, b, g, особливості стандартів 802.11ac, ax, результати моделювання, висновки).

7. Орієнтовний перелік публікацій «Шляхи удосконалення передавання аудіовізуального контенту через Wi-Fi мережу»

#### 8. Консультанти розділів дисертації

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

9. Дата видачі завдання 10.09.2017

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Написання першого розділу	10.10.2017	
2	Написання другого розділу	15.12.2017	
3	Написання третього розділу	01.05.2018	
4	Написання четвертого розділу	10.10.2018	
5	Розроблення стартап-проекту	09.11.2018	
6	Підготовка матеріалів до друку та оформлення пояснювальної записки	25.11.2018	
7	Підготовка та оформлення презентації для доповіді	30.11.2018	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Піддубцева У. В.

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_ (підпис)

Власюк Г. Г.

(ініціали, прізвище)

УДК 621.397

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 91 стор., 30 рис., 24 табл., 21 джерело, 1 додаток.

БЕЗПРОВОДОВА МЕРЕЖА, WI-FI, ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ, МЕДІАКО-  
НТЕНТ, РІВЕНЬ СИГНАЛУ, МАРШРУТИЗАТОР, СТАНДАРТ IEEE 802.11AC

**Актуальність роботи.** У дні сучасних інформаційних технологій кількість медіаконтенту, який кожен день передається мережею Wi-Fi, з кожним днем збільшується. Цей процес супроводжується удосконаленням технологій та стандартів.

Кінцевим користувачам необхідне передавання медіаконтенту на високих швидкостях з мінімальними втратами. Однак передавання медіаконтенту є досить вимогливою послугою. Технології та стандарти Wi-Fi повинні забезпечувати надійне одночасне передавання декількох різних типів контенту: відео, звуку і даних без переривання.

**Мета і завдання дослідження.** *Метою* дисертаційної роботи є пошук рішень для проблем, які виникають під час передавання медіаконтенту через Wi-Fi мережу, та моделювання покриття мережі для офісного приміщення.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі *завдання*:

- проаналізувати особливості стандартів 802.11 та визначити їх недоліки під час передавання відеоданих;
- дослідити особливості передавання відео в мережі Wi-Fi та з'ясувати проблеми, які виникають під час передавання відеоданих в Wi-Fi мережах;
- проаналізувати особливості стандартів 802.11ac та 808.11ah, які впливають на підвищення пропускної здатності мережі;
- експериментально дослідити пропускну здатність Wi-Fi мережі стандарту 802.11ac в різних режимах роботи та з'ясувати можливості передавання відеоконтенту на прикладі мережі невеликого офісу.

**Об’єктом дослідження** є Wi-Fi мережа з можливістю передавання відеоконтенту.

**Предметом дослідження** є вплив параметрів мережі Wi-Fi та режимів її роботи на передавання аудіовізуального контенту.

**Методи дослідження.** Під час теоретичних досліджень використано відомості про стандарти 802.11 та положення теорії телекомунікацій. Для експериментальних досліджень застосовано програмний засіб *EkaHau Site Survey*.

### **Наукова новизна одержаних результатів.**

Запропоновано використовувати змішаний режим роботи точок доступу Wi-Fi (робота в діапазонах частот 2,4 ГГц і 5 ГГц) для забезпечення максимальної пропускної здатності мережі, що дозволить передавати відеодані без затримок та втрат.

**Практичне значення одержаних результатів.** Результати дослідження можна використати під час планування мереж Wi-Fi для малих офісів та житлових приміщень.

**Апробація результатів дисертації.** Результати досліджень, що включені до дисертації, оприлюднені на Міжнародній науковій інтернет-конференції «Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення» (2018, випуск 34).

**Публікації.** Результати досліджень, наведених в дисертації, оприлюднено в таких виданнях:

1. У. В. Піддубцева Шляхи удосконалення передавання аудіовізуального контенту через WI-FI мережу / У. В. Піддубцева // Матеріали конференції «Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення». – К: Міжнародної наукової інтернет-конференції «Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення».

## SUMMARY

Object of this research is how multimedia content via wireless networks.

The results represent parameters and comparative characteristics 802.11ac standard network equipment, scheduling of necessary hotspots for wireless network organization of standard 802.11ac for office.

A great attention was paid to investigation both advantages and disadvantages 802.11 family of standards, as well as to detailed description of innovation in 802.11ac standard, to comparison of throughput for routers 802.11ac and 802.11n standards and consideration of main features of special equipment used for 802.11ac wireless network plan development.

The results of the thesis can be used for planning and organization of wireless local area networks in Ukraine and for providing data services and broadband Internet access.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	9
ВСТУП .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СІМЕЙСТВА СТАНДАРТІВ 802.11 .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
1.1 Особливості розвитку технологій безпроводового доступу .....	12
1.1.1 Безпроводові локальні мережі WLAN.....	13
1.2 Особливості стандарту IEEE 802.11....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
1.3 Структура стандарту IEEE 802.11 .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
1.3.1 Стек протоколів 802.11.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
1.3.2 Підрівень доступу до середовища стандарту 802.11	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
<b>не определена.</b>	<b>7</b>
1.4 Стандарти сімейства IEEE 802.11 .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
1.4.1 Мережний стандарт IEEE 802.11a.....	23
1.4.2 Мережний стандарт IEEE 802.11b .....	24
1.4.3 Мережний стандарт IEEE 802.11g .....	28
2 МЕТОДИ І ЗАОСБИ УДОСКОНАЛЕННЯ ПЕРЕДАВАННЯ КОНТЕНТУ В МЕРЕЖІ WI-FI .....	32
2.1 Передавання відео в мережі Wi-Fi .....	32
2.2 Проблеми під час передавання відео в мережі Wi-Fi.....	35
2.3 Збільшення фізичної швидкості передавання.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2.4 Підвищення ефективності передавання на MAC-рівні	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
<b>не определена.</b>	<b>не определена.</b>
3 ОСОБЛИВОСТІ РАДІОІНТЕРФЕЙСУ 802.11AC .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.1 Еволюція стандарту IEEE 802.11ac.....	41
3.2 Пропускна здатність стандарту 802.11ac.....	42
3.3 Технологія передавання даних MU-MIMO .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
<b>не определена.</b>	<b>4</b>

3.4	Методи модуляції стандарту 802.11ac .....	45
3.5	Енергоспоживання .....	47
3.6	Мережний міст з підтримкою стандарту 802.11ac .....	48
3.7	Особливості стандарту 802.11ax .....	49
3.8	Переваги та недоліки стандарту 802.11ax .....	50
4	<b>МОДЕЛЮВАННЯ ПОКРИТТЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ СТАНДАРТУ 802.11AC .....</b>	<b>Ошибка! Закладка не определена.3</b>
4.1	Вибір обладнання.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.3</b>
4.1.1	Переваги D-Link DAP-3662.....	53
4.2	Моделювання.....	55
4.2.1	Аналіз рівня сигналу однієї точки доступу.....	58
4.2.2	Встановлення другої точки доступу .....	60
4.2.3	Аналіз пропускної здатності двох точок доступу .....	61
4.2.4	Аналіз рівня сигналу двох точок доступу .....	63
4.2.5	Канальне планування.....	65
4.2.6	Аналіз рівня сигналу двох точок доступу з врахуванням каналь-ного планування .....	67
4.3	Аналіз результатів моделювання.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.9</b>
5	<b>РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ... Ошибка! Закладка не определена.1</b>	
5.1	Загальні відомості .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.1</b>
5.2	Технологічний аудит ідеї проекту.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.2</b>
5.3	Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	<b>Ошибка! Закладка не определена.2</b>
5.4	Розроблення ринкової стратегії проекту	<b>Ошибка! Закладка не определена.6</b>
5.5	Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	<b>Ошибка! Закладка не определена.8</b>
	<b>ВИСНОВКИ..... Ошибка! Закладка не определена.</b>	
	<b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....</b>	<b>Ошибка! Закладка не определена.4</b>
	<b>ДОДАТОК А..... Ошибка! Закладка не определена.6</b>	





## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

5G	– Fifth Generation (п'яте покоління);
AP	– Access Point (точка доступу);
BSS	– Basic Service Set (базова зона обслуговування);
ССК	– Complementary Code Keying (комплементарне кодування);
CSMA/ CA	– Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (метод множинного доступу з контролем носійної та запобіганням колізій);
DBPSK	– Differential Binary Phase Shift Keying (двійкова відносна фазова модуляція);
DIFS	– міжкадровий інтервал режиму DCF;
DMZ	– Demilitarized Zone (демільтаризована зона);
DQPS К	– Differential Quaternary Phase-shift Keying (диференційна квадратурна фазова маніпуляція);
DS	– Distribution System (розподільна система);
DSSS	– Direct Sequence Spread Spectrum (метод прямого розширення спектру);
FHSS	– Frequency Hopping Spread Spectrum (метод частотних стрибків);
HD	– High definition (велике розширення);
IEEE	– Institute of Electrical and Electronics Engineers (Інститут інженерів з електротехніки та електроніки );
IFS	– міжкадровий інтервал;
LAN	– Local Area Network (локальна мережа);
LLC	– Logical Link Control (логічне передавання даних);
LTE	– Long Term Evolution ( довгострокова еволюція мереж зв'язку);
MAC	– Medium Access Control (нижній підрівень каналного рівня);
MCS	– Modulation and Coding Scheme (схеми модуляції та кодування);

MIMO	Multiple Input Multiple Output (технологія передавання даних за допомогою N антен і їх прийом M антенами);
MU-MIMO	– Multi User Multiple Input Multiple Output (технологія MIMO для багатьох користувачів);
NAT	– network address translation (трансляція мережних адрес, перетворення мережних адрес)
OFDM	– Orthogonal Frequency Division Multiplexing (ортогональне частотне розділення каналів з мультиплексуванням);
OSI	– Open Systems Interconnection (взаємодія відкритих систем);
PBCC	– Packet Binary Convolutional Coding метод двійкового пакетного згорткового кодування
PHY	– Physical Layer (фізичний рівень);
QAM	– Quadrature amplitude modulation (квадратурна модуляція);
QoS	– Quality of Service (якість обслуговування);
QPSK	– Quantitude Phase Shift Keying (квадратурна фазова модуляція);
SDMA	– Space Division Multiple Access (багатостанційний доступ з просторовим розділенням каналів);
UPnP	– Universal Plug&Play (набір протоколів, універсальне автоматичне налаштування мережних пристроїв);
USB	– Universal Serial Bus ("універсальна послідовна шина" послідовних інтерфейс передавання даних);
VoIP	– Voice over IP (технологія передавання голосу);
VHT	– very high throughput (дуже велика пропускна здатність);
WAN	– Wide Area Network Глобальна комп'ютерна сеть
Wi-Fi	– Wireless fidelity (висока точність безпроводового передавання даних – стандарт безпроводового зв'язку);
WLAN	– Wireless Local Area Network (безпроводова локальна мережа);
АО	– абонентське обладнання;
ПК	– персональний комп'ютер;
ТД	– точка доступу.

## ВСТУП

У дні сучасних інформаційних технологій кількість способів передавання мультимедійного контенту через Wi-Fi мережу. Цей процес супроводжується удосконаленням технологій передавання медіаконтенту через Wi-Fi мережу

Кінцевим користувачам необхідні висока швидкість передавання та мінімальна втрата інформації під час передавання. Однак передавання мультимедійного контенту є досить вимогливою послугою. Технології забезпечення передавання мультимедійного контенту через безпроводові мережі зв'язку повинні забезпечувати надійне одночасне передавання контенту: відео, звуку і даних без переривання.

В основному, мультимедійна інформація займає великі обсяги, тому витрати на зберігання і передавання такої інформації завжди великі і в більшості випадків, потік інформації, що передається, стискається під час передавання в мережу мовлення. Про успішний досвід створення та використання таких систем йдеться в роботі [1].

Наразі усне кілька технічних рішень та стандартів, які поліпшують якість.

Сімейство стандартів 802.11 – одне з найкращих рішень для вирішення задач, поставлених у цій роботі.

Однак, усі існуючі рішення мають певні недоліки, серед яких швидкість передавання даних та втрата пакетів під час передачі.

Таким чином, виникає завдання з адаптації існуючих рішень для передавання мультимедійного контенту через Wi-Fi мережу, для якого характерна обмежена швидкість передавання даних та втрата пакетів під час передавання.

## 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СІМЕЙСТВА СТАНДАРТІВ 802.11

### 1.1 Особливості розвитку технологій безпроводового доступу

Термін "безпроводовий" (wireless) на ранніх етапах розвитку радіотехніки використовували для позначення радіозв'язку в широкому сенсі, тобто буквально у всіх випадках, коли інформація передавалась без проводів. Пізніше таке тлумачення практично вийшло з обігу, термін "безпроводовий" почав вживатися як заміник, еквівалент терміну "радіо" (radio) або "радіочастота" (RF – radio frequency).

В наш час ці поняття вважають взаємозамінними тоді, коли ми говоримо про діапазон частот від 3 кГц до 300 ГГц. Термін "радіо" все ж частіше використовують щоб описати вже давно існуючі технології (радіотелефонний зв'язок, радіомовлення, радіолокація, супутниковий зв'язок, і т. д.). Термін "безпроводовий" в наш час більш відносять до нових технологій, таких, як стільниковий телефонія, мікrostільникова, абонентський доступ і т. д.

Існують такі типи безпроводових мереж, які відрізняються за радіусом дії :

- WPAC (Wireless Personal Area Connectivity) або як її ще називають WPAN (Wireless Personal Area Network),
- WLAN (Wireless Local Area Network),
- WWAN (Wireless Wide Area Network).

При створенні мереж WPAN і WLAN та широкопasmового безпроводового доступу (BWA - Broadband Wireless Access) застосовують схожі технології. Ключова різниця між ними це характеристики радіоінтерфейсу і діапазон робочих частот. Мережі WPAN та WLAN працюють в діапазонах частот 2,4 і 5 ГГц, які є неліцензійними, що означає, що при їх розгортанні не треба координація з іншими радіомережами, які працюють в тому ж діапазоні та частотне планування. В мережі BWA (Broadband Wireless Access) використовуються як неліцензійні діапазони, так і ліцензійні (від 2 до 66 ГГц)[20].

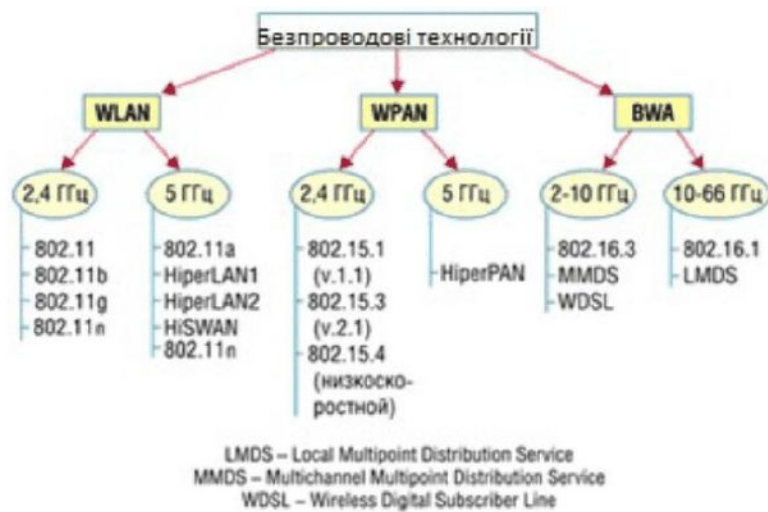


Рисунок 1.1 - Класифікація безпроводових технологій

### 1.1.1 Безпроводові локальні мережі WLAN.

Організація доступу всередині будівлі до інформаційних ресурсів є основним призначенням (WLAN) - безпроводових локальних мереж. Ще однією сферою застосування є організація громадських точок доступу в людних місцях, наприклад аеропортах, ресторанах, готелях, на ряду з цим організація тимчасових безпроводових локальних мереж на період проведення різноманітних заходів, наприклад семінарів чи виставок.

Безпроводові локальні мережі, які відомі також як Wi-Fi (Wireless Fidelity), створюють на основі сімейства стандартів IEEE 802.11. Не зважаючи на те, що сама назва Wi-Fi в стандартах не була прописана, бренд Wi-Fi в світі набув найбільш широкого поширення.

На початку, термін «Wi-Fi» використовували лише для позначення технології, яка забезпечує зв'язок в частотному діапазоні 2,4 ГГц і працює за стандартом IEEE 802.11b. Проте сьогодні цей термін використовують стосовно безпроводових локальних мереж та інших технологій. Великі корпорації та розвинені держави поклали надію на WAP і GPRS, готуючись до продажу ліцензій на стільниковий зв'язок 3-го покоління (стандарт UMTS), який мав забезпечувати високошвидкісну передачу даних у стільникових мережах. Широкого обговорювання

набули можливості стандарту Bluetooth, за допомогою якого, як передбачалося, в мережу мали бути об'єднані побутові прилади та персональні пристрої. Як можна бачити, альтернатив стандарту 802.11 свого часу було багато, наведений список - далеко не повний. Втім, сталось так, що перемогу здобув все ж Wi-Fi.

## 1.2 Особливості стандарту IEEE 802.11

Стандарт IEEE 802.11, розроблений в 1997 р Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) – це стандарт організації безпроводових комунікацій на обмеженій території в режимі локальної мережі, коли декілька абонентів мають рівноправний доступ до загального каналу передавання. Стандарт 802.11 є базовим і визначає протоколи, необхідні для організації безпроводових локальних мереж (Wireless Local Area Networks або WLAN). Основні з них – протокол управління доступом до середовища MAC (Medium Access Control - нижній підрівень каналного рівня) і протокол РНУ передавання сигналів у фізичному середовищі.

Стандартом 802.11 визначено єдиний підрівень MAC, що взаємодіє з трьома типами протоколів фізичного рівня, що відповідають різним технологіям передавання сигналів – по радіоканалах у діапазоні 2,4 ГГц з широкосмуговою модуляцією з прямим розширенням спектра (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS) і частотних стрибків (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS), а також за допомогою інфрачервоного випромінювання. Обидві широкосмугові технології пропонуються в двох частотних діапазонах: один – близько 915 МГц, інший в діапазоні від 2400 МГц до 2483,5 МГц. Але саме діапазон 2,4 ГГц є найбільш цікавим для використання його в безпроводових мережах, так як він найменш "зашумлений" сторонніми сигналами і дозволяє розширити смугу передавання. У режимі FHSS весь діапазон 2,4 ГГц використовується як одна широка смуга (з 79 підканалів). У режимі DSSS цей же діапазон розбитий на кілька широких DSSS-каналів, яких одночасно може бути використано не більше трьох. Метод FHSS

передбачає зміну носійної частоти сигналу при передаванні інформації. При використанні FHSS конструкція приймача виходить дуже простою, але цей метод застосуємо, тільки якщо пропускна здатність не перевищує 2 Мбіт/с. Ця проблема стала однією з головних причин створення нових версій стандарту. Специфікаціями стандарту передбачені два значення швидкості передавання даних – 1 та 2 Мбіт/с.

В стандарті передбачено п'ять різних реалізацій фізичного рівня:

1. Рівень PHY 802.11 зі стрибкоподібною зміною частоти (FHSS) в діапазоні 2,4 ГГц.
2. Рівень PHY 802.11 з розширенням спектру методом прямої послідовності (DSSS) в діапазоні 2,4 ГГц.
3. Рівень PHY 802.11b з комплементарним кодуванням ССК в діапазоні 2,4 ГГц.
4. Рівень PHY 802.11a з ортогональним мультиплексуванням (OFDM) в діапазоні 5 ГГц.
5. Розширений фізичний рівень (ERP) 802.11g в діапазоні 2,4ГГц.

Кожний з фізичних рівнів стандарту 802.11 має два підрівні:

- PLCP – підрівень (підрівень процедури визначення стану фізичного рівня);
- PMD – підрівень (підрівень фізичного рівня, що залежить від середовища передавання).

Співвідношення цих підрівнів, а також підрівня каналного рівня з моделлю OSI.

Рівні моделі OSI наведені на рис. 1.2.



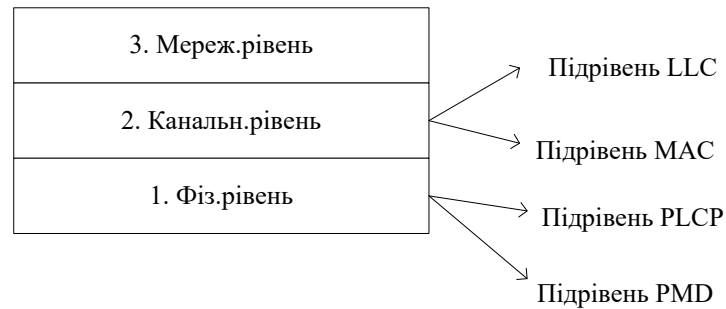


Рисунок 1.2 – Рівні моделі OSI

Підрівень PLCP є рівнем забезпечення взаємодії, на якому здійснюється переміщення елементів даних протоколу MAC (MPDU) між MAC-станціями з використанням підрівня MAC, на якому реалізується той чи інший метод передавання і приймання даних через безпроводове середовище.

Підрівні PLCP та PMD відрізняються для різних варіантів стандарту 802.11.

### 1.3 Структура стандарту IEEE 802.11

В основу стандарту 802.11 покладена стільникова архітектура, тому мережа може складатися як з однієї, так і декількох осередків. Кожна стільника управляється базовою станцією, так званою точкою доступу (Access Point, AP), яка разом з розташованими в межах радіусу її дії робочими станціями користувачів утворює базову зону обслуговування (Basic Service Set, BSS). Точки доступу багатостільникової мережі взаємодіють між собою через розподільну систему (Distribution System, DS), що є еквівалентом магістрального сегменту кабельних ЛС. Вся інфраструктура, що включає точки доступу і розподільну систему утворює розширену зону обслуговування (Extended Service Set).

Стандартом передбачений також односотовий варіант бездротової мережі, який може бути реалізований і без точки доступу, при цьому частина її функцій виконуються безпосередньо робочими станціями. [21]

### 1.3.1 Стек протоколів 802.11

Стек протоколів 802.11 відповідає моделі OSI, тобто складається з фізичного рівня та каналного рівня з підрівнями управління доступом до середовища (MAC–підрівень) та підрівнем контролю логічного передавання даних (LLC).

Стек протоколів 802.11 представлений на рис. 1.2:

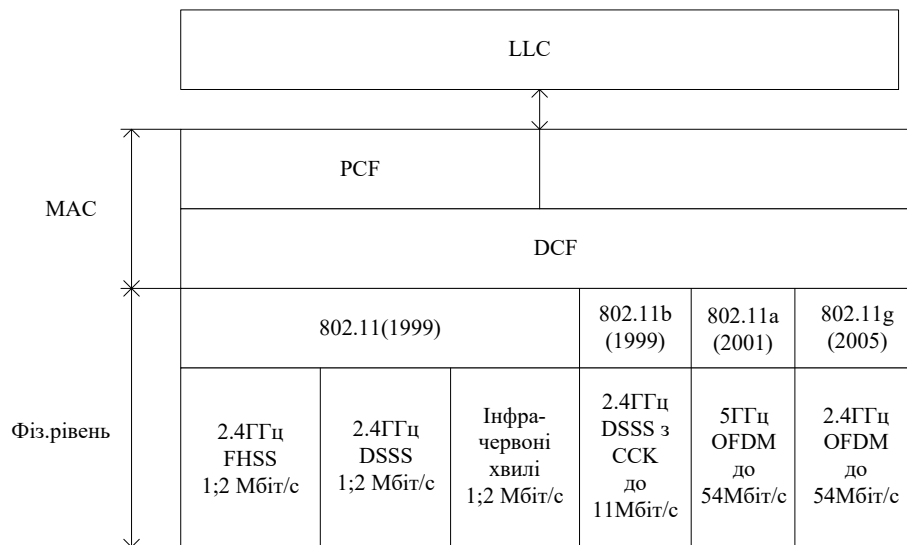


Рисунок 1.3 – Стек протоколів 802.11

На фізичному рівні існує кілька варіантів специфікацій, які відрізняються частотним діапазоном і методом кодування, а отже і швидкістю передавання даних.

### 1.3.2 Підрівень доступу до середовища стандарту 802.11

В мережі підрівень MAC забезпечує 2 режими доступу до середовища:

- режим централізованого доступу PCF;
- розподілений режим доступу DCF.

**Режим доступу DCF.** В цьому режимі реалізовано метод множинного доступу з контролем носійної та запобіганням колізій (CSMA/CA – Carrier Sense

Multiple Access with Collision Avoidance). В основі цього методу лежить принцип повторного передавання з підтвердженням АСК.

Суть принципу у наступному: передавач здійснює передавання 1-го пакету, а приймач у разі успішного приймання пакету надсилає до передавача підтвердження про позитивний прийом (так звану квитанцію).

Лише у випадку надходження цієї квитанції до передавача, він виконує передавання 2-го пакету.

Якщо квитанція не дійшла – інформація втрачена, передавач повторює передавання першого пакету (рис. 1.4)

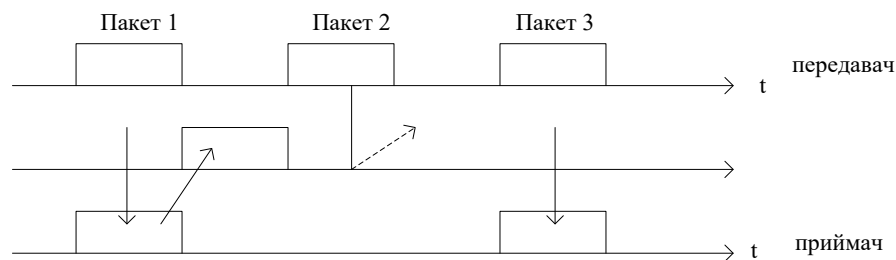


Рисунок 1.4 – Передавання пакетів

Розглянемо режим доступу до середовища на підрівні MAC, який називається DCF, оснований на цьому принципі [18].

Процес доступу до середовища показаний на рис. 1.5.



Рисунок 1.5 – Процес доступу до середовища

В режимі доступу станція постійно сканує (слухає) середовище передавання. Станція А, скануючи середовище, визначає вільне воно чи ні. Як тільки середовище стає вільним, станція А відраховує стандартний інтервал часу (міжкадровий інтервал – IFS). По закінченні часу IFS, якщо середовище все ще вільне, починається відлік слотів фіксованої тривалості.

Кадр можна передавати на початку будь-якого слоту за умови, що середовище вільне. Станція обирає для передавання слот на основі алгоритму відстрочки, причому номер слота обирається як випадкове ціле число з інтервалу  $[0, CW]$ , де  $CW$  – конкурентне вікно.

Нехай на основі алгоритму було обрано слот з номером 3. Якщо по закінченні тривалості цього слоту середовище вільне, таймер відстрочки зменшується на одиницю, передавання кадру почнеться лише тоді, коли значення таймеру відстрочки дорівнюватиме 0.

Таким чином, забезпечується умова незайнятості слотів, включаючи обраний. Ця умова є необхідною для початку передавання даних.

Розмір слоту залежить від способу кодування сигналу (для DSSS – 1мкс). Якщо в кінці будь-якого слоту середовище виявляється зайнятим, значення таймера відстрочки заморожується, а станція починає новий цикл доступу до середовища, прослуховуючи середовище та відраховуючи новий інтервал.

Якщо середовище вільне, станція використовує значення замороженого таймера як номер слоту і виконує перевірку вільних слотів, починаючи з замороженого слоту таймера.

Розглянутий механізм дає можливість запобігти виникненню колізій в процесі доступу до середовища. Колізія може виникнути лише тоді, коли станції оберуть один і той же слот для передавання. В цьому випадку кадри спотворюються, а квитанції про позитивне передавання не надходить. Передавачі фіксують факт колізії і намагаються передати свої кадри знову.

Під час кожної повторної невдалої спроби передавання кадру інтервал  $[0, CW]$ , з якого вибирають номер слоту, подвоюється.

**Централізований режим доступу PCF.** У тому випадку, коли мережа має станцію, яка виконує функцію точки доступу, може застосовуватись також централізований режим доступу PCF, який забезпечує пріоритетне обслуговування трафіку. У такому випадку говорять, що точка доступу грає роль арбітра.

Режим доступу PCF у мережах 802.11 співіснує з режимом DCF. Обидва режими координуються за допомогою трьох типів між кадрових інтервалів (рис 1.6).

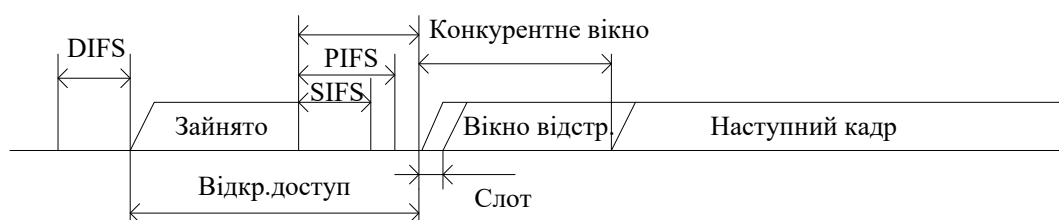


Рисунок 1.6 – Типи міжкадрових інтервалів

Після звільнення середовища кожна станція відраховує час простою середовища, зрівнюючи його з трьома значеннями:

- короткий між кадровий інтервал (ShortIFS, SIFS);
- міжкадровий інтервал режиму PCF (PIFS);
- міжкадровий інтервал режиму DSF (DIFS).

Для того, щоб певна доля середовища завжди діставалася асинхронному трафіку тривалість контрольованого періоду обмежена. Після його закінчення арбітр передає відповідний кадр і починається неконтрольований період.

Кожна станція може працювати в режимі PCF, для цього вона має підписатися на цю послугу при підключенні до мережі [3].

**Кадр MAC-підрівня.** На рис. 1.7 зображений формат кадру 802.11. Приведена загальна структура використовується у всіх випадках:

2	2	6	6	6	2	6	0-2312	4	октети
FC	D/I	Адреса	Адреса	Адреса	SC	Адреса	Тіло кадру	CRC	

Рисунок 1.7 – Формат кадру 802.11

FC – управління кадром;

D/I – ідентифікатор тривалості;

SC – управління черговістю;

Поле загального кадру:

- управління кадром;
- ідентифікатор тривалості;
- адреса;
- управління чергою;
- тіло кадру
- контрольна послідовність кадру.

Структура поля управління кадром показана на рис. 1.8.

2	2	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	октети
Версія протоколу	Тип	Підтип	До DS	Від DS	MF	RT	PM	MD	W	O		

Рисунок 1.8 – Поле управління кадром

DS – система розподілення;

MF – більше фрагментів;

RT – повтор;

PM – управління потужністю;

MD – більше даних;

W – біт захисту провідного еквіваленту;

O – порядок.

## 1.4 Стандарти сімейства IEEE 802.11

В даний час існує безліч стандартів сімейства IEEE 802.11:

**IEEE 802.11** – початковий стандарт безпроводових локальних мереж, заснований на безпроводовому передаванні даних в діапазоні 2.4 ГГц.. Підтримує передавання даних через радіоканалу на швидкостях 1 і 2 (опціонально) Мбіт/с. Прийнятий в 1997 році.

**IEEE 802.11a** – високошвидкісний стандарт WLAN. Підтримує передавання даних на швидкостях до 54 Мбіт/с через радіоканал в діапазоні близько 5 ГГц.

**IEEE 802.11b** – найпоширеніший стандарт. Підтримує передавання даних на швидкостях до 11 Мбіт/с через радіоканал в діапазоні близько 2,4 ГГц.

**IEEE802.11b+** — покращена версія стандарту 802.11b у виконанні окремих виробників, що забезпечує підвищення швидкості обміну даними

**IEEE 802.11c** – стандарт, що регламентує роботу безпроводових мостів. Дана специфікація використовується виробниками безпроводових пристроїв при розробці точок доступу.

**IEEE 802.11d** – стандарт визначає вимоги до фізичних параметрів каналів (потужність випромінювання та діапазони частот) і пристроїв безпроводових мереж з метою забезпечення їх відповідності законодавчим нормам різних країн.

**IEEE 802.11e** – (QoS, Quality of service) додатковий стандарт, що дозволяє забезпечити гарантовану якість обміну даними шляхом перестановки пріоритетів різних пакетів; необхідний для роботи таких потокових сервісів як VoIP або IPTV.

**IEEE 802.11f** – даний стандарт, пов'язаний з аутентифікацією, визначає механізм взаємодії точок зв'язку між собою при переміщенні клієнта між сегментами мережі. Інша назва стандарту – Inter Access Point Protocol. Стандарт, що описує порядок зв'язку між рівнозначними точками доступу.

**IEEE 802.11h** – розроблений з метою ефективного управління потужністю випромінювання передавача, вибором носійної частоти передавання і генерації

потрібних звітів. Він вносить деякі нові алгоритми в протокол доступу до середовища MAC (Media Access Control, керування доступом до середовища), а також у фізичний рівень стандарту IEEE 802.11a

**IEEE802.11i** — стандарт, що усуває недоліки у сфері безпеки попередніх стандартів. 802.11i вирішує проблеми захисту даних канального рівня і дозволяє створювати безпечні безпроводові мережі практично будь-якого масштабу.

**IEEE802.11g** — стандарт безпроводових локальних мереж, заснований на передаванні даних в діапазоні 2.4 ГГц. Діапазон розділений на три непересічні канали, тобто на одній території, не впливаючи одна на одну, можуть працювати три різні безпроводові мережі. Для збільшення швидкості обміну даними застосований метод модуляції з ортогональним частотним мультиплексуванням (OFDM, Ortogonal Frequency Division Multiplexing), а також метод двійкового пакетного згорткового кодування PBCC (Packet Binary Convolutional Coding).

**IEEE 802.11n** – цей стандарт був затверджений 11 вересня 2009. Стандарт 802.11n підвищує швидкість передавання даних практично вчетверо у порівнянні з пристроями стандартів 802.11g (максимальна швидкість яких дорівнює 54 Мбіт/с), за умови використання в режимі 802.11n з іншими пристроями 802.11n. Теоретично 802.11n здатний забезпечити швидкість передавання даних до 480 Мбіт/с. Пристрої 802.11n працюють в діапазонах 2,4 - 2,5 або 5,0 ГГц [2].

Основні стандарти розглядаються нижче.

#### **1.4.1 Мережний стандарт IEEE 802.11a**

Є найбільш "широкосмуговим" з сімейства стандартів 802.11, передбачає швидкість передавання даних до 54 Мбіт/с (редакцією стандарту, затвердженою в 1999 р., визначено три обов'язкових швидкості – 6, 12 і 24 Мбіт/с і п'ять необов'язкових – 9, 18, 36, 48 і 54 Мбіт/с).

На відміну від базового стандарту, орієнтованого на область частот 2,4 ГГц, специфікаціями 802.11a передбачена робота в діапазоні 5 ГГц. В якості ме-



тоду модуляції сигналу вибрано ортогональне частотне мультиплексування (OFDM). В стандарті 802.11a кожний кадр передається за допомогою 52 ортогональних носійних коливань (48 призначені для передавання інформаційних символів, інші 4 – службові.), кожне коливання має ширину смуги частот порядку 300 кГц. Ширина одного радіоканалу складає 20 МГц. Носійні модулюються за допомогою BPSK і QPSK модуляцій, а також за допомогою 16-QAM, 64-QAM модуляцій.

Найбільш істотна відмінність між цим методом і радіотехнологіями DSSS і FHSS полягає в тому, що OFDM допускає паралельне передавання корисного сигналу одночасно по декільком частотам діапазону, в той час як технології розширення спектру передають сигнали послідовно. В результаті підвищується пропускна здатність каналу і якість сигналу.

До недоліків 802.11a відноситься вища потужність випромінювання радіопередавачів для частоти 5 ГГц, а також менший радіус дії (обладнання для 2,4 ГГц може працювати на відстані до 300м, а для 5ГГц – близько 100м) [2].

#### **1.4.2 Мережний стандарт IEEE 802.11b**

В остаточній редакції стандарт 802.11b, відомий також як Wi-Fi (wireless fidelity), був прийнятий в 1999р. В якості базової радіотехнології у ньому використовується метод DSSS з 8-розрядними послідовностями Уолша.

Стандарт 802.11b, працює в діапазоні частот 2,4 – 2,5 ГГц (на близьких частотах працюють безпроводові телефони та мікрохвильові печі) і використовує модуляцію DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum). Максимальна швидкість передавання складає 11 Мбіт/с, зі східчастими падіннями до 5,5, 2 та 1 Мбіт/с.

На фізичному рівні стандарту 802.11b до MAC-кадрів (MPDU) додається до загального фізичного рівня (рис. 1.9) , який складається з преамбули та PLCP-заголовку [2].

SYNC 128 біт	SFD 16 біт	SIGNAL 8 біт	Service 8 біт	Length 16 біт	CRC 16 біт	MPDU (MAC-key)
Прембула		PLCP-заголовок				

Рисунок 1.9 – Пакет фізичного рівня

Підполе SYNC складається з усіх одиниць та забезпечує синхронізацію приймальної станції.

Підполе SFD містить спеціальний рядок 0xF3A0, задача якого забезпечити таймінг для приймальної станції.

PLCP – заголовок містить такі підполя:

Підполе signal вказує тип модуляції і швидкість передавання даного кадру.

Підполе service – зарезервоване.

Підполе length – вказує кількість мікросекунд необхідних для передавання частин MAC-кадру.

Підполе CRC – контрольна сума.

В стандарті 802.11b передбачено два види заголовку: довгий та короткий. Вони відрізняються довжиною синхропослідовності (128 біт та 56 біт), способом її передавання, а також тим, що символ початку кадру в короткому заголовку передається в зворотному.

Якщо всі поля довгого заголовку передаються зі швидкістю 1 Мбіт/с, то в короткому заголовку преамбула передається зі швидкістю 1 Мбіт/с, а інші поля заголовку зі швидкістю 2 Мбіт/с. Таким чином заголовки фізичного рівня, непередбачені специфікацією 802.11b для збільшення пропускної здатності мережі.

Стандарт 802.11b передбачає передавання даних на швидкостях 1;2;5,5;11;22 Мбіт/с. Швидкість передавання даних 1 і 2 Мбіт/с забезпечується шляхом використання розширення спектру методом прямої послідовності за допомогою коду Баркера довжиною 11 чіпів:  $V1 = (10110111000)$

Кожний інформаційний біт заміщується відповідною послідовністю Баркера шляхом додавання по модулю 2. Кожна інформаційна одиниця заміщується на послідовність  $V1$ , а кожен нуль на інверсію  $V1$ . Надалі сигнал кодується шляхом

дифракції двох- або чотирьох позиційної фазової модуляції DBPSK або DQPSK (один або два біти на модуляційний символ відповідно).

У випадку швидкості символного потоку 11 Мсимволів/с досягається передавання даних на швидкості 1 Мбіт/с (DBPSK) та 2 Мбіт/с (DQPSK).

Для передавання на швидкостях 5,5 та 11 Мбіт/с в стандарті 802.11b використовується комплементарне кодування ССК.

Для того, щоб передавати дані на швидкості 5,5 Мбіт/с необхідно згрупувати потік бітів в символи по 4 біти ( $b_0, b_1, b_2, b_3$ ). Останні два біти  $b_2$  і  $b_3$  використовуються для визначення 8 послідовностей чіпів, як показано в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Комплексні чіпи ССК

( $b_2; b_3$ )	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
00	$j$	1	$j$	-1	$j$	1	-1	1
01	$-j$	-1	$-j$	1	$j$	1	$-j$	1
10	$-j$	1	$-j$	-1	$-j$	1	$j$	1
11	$j$	-1	$j$	1	$-j$	1	$J$	1

Тепер, маючи послідовність комплексних чіпів можна використати перші два біта  $b_0$  і  $b_1$  для визначення повороту фази (табл.1.2), який здійснюється під час модуляції DQPSK.

Таблиця 1.2 – Поворот діапазону під час модуляції ССК

( $b_0; b_1$ )	Зміна фази парних символів	Зміна фази непарних символів
00	0	$\pi$
01	$\pi/2$	$-\pi/2$
11	$\pi$	0
10	$-\pi/2$	$\pi/2$

Ця зміна фази застосовується у відношенні до 8 комплексних чіпів, а потім здійснюється модуляція на відповідній носійній частоті.

Для передавання даних на швидкості 11 Мбіт/с послідовність бітів розбивається не по 4, а по 8 символів. Останні 6 біт обирають одну послідовність, яка складається з 8 комплексних чіпів, а b0 і b1 використовують таким чином, як і при швидкості 5,5 Мбіт/с.

Перевагою ССК кодування є його хороші кореляційні властивості, проте воно має певний недолік, який полягає в нерівномірності розподілу символів у фазовому просторі, що може призвести до виникнення помилок під час приймання даних. Такого недоліку позбавлений спосіб кодування, який отримав назву РВСС (паketне бінарне згорткове кодування). Цей механізм у стандарті 802.11b є обов'язковим і забезпечує швидкість передавання даних 5,5; 11; 22 Мбіт/с.

**Розширені версії стандарту 802.11b.** Компанія Texas Instruments в першій половині 2002 року представила розширений стандарт 802.11b, реалізований в чіпсеті ACX100, що використовує модуляцію РВСС (Packet Binary Convolutional Coding), яка дозволила збільшити потік з 11 до 22 Мбіт/с. Але поява продуктів draft-802.11g звело всі старання ТІ нанівець. Втім, на ринку все-таки встигли з'явитися пристрої із заявленою швидкістю 44 Мбіт/с, але вони вже не одержали масового поширення.

Перевагами стандарту є:

- найбільш поширений стандарт безпроводових мереж;
- відносно недороге обладнання.

Недоліки:

- перешкоди з боку безпроводових телефонів діапазону 2,4 ГГц, мікрохвильових печей та обладнання Bluetooth;
- схильність до перешкод від сусідніх безпроводових мереж, оскільки існує всього три непересічних частотних канали. [5].

### 1.4.3 Мережний стандарт IEEE 802.11g

Стандарт 802.11g привабливий своєю максимальною піковою швидкістю 54 Мбіт/с (реальна — приблизно 20 Мбіт/с.) та зворотною сумісністю зі стандартом 802.11b. Більша швидкість досягається завдяки використанню кодування OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), що вперше було застосовано в стандарті 802.11a, а зворотна сумісність — таким же частотним діапазоном 2,4 ГГц та підтримкою старої схеми модуляції Complementary Code Keying (ССК), які використовувалися в 802.11b [2].

Сумісність є дуже важливою особливістю, оскільки всі пристрої 802.11g можуть перемикатися як в режим роботи "тільки-802.11b", так і в змішаний режим "b/g" і в режим "тільки-11g".

Оскільки пристрої 802.11b використовують ССК-модуляцію, і опціонально РВСС-модуляцію, то може виникнути колізія при спробі доступу до середовища, якщо пристрій 802.11g почне передавання даних. Тоді пристрій 802.11b не зможе почути пристрої 802.11g через різні способи модуляції, що в них використовуються. Щоб не допустити подібну ситуацію в стандарті 802.11g передбачена можливість роботи у змішаному режимі ССК-OFDM. Одні кадри 802.11g в різних режимах роботи матимуть такий вигляд (рис.1.10):

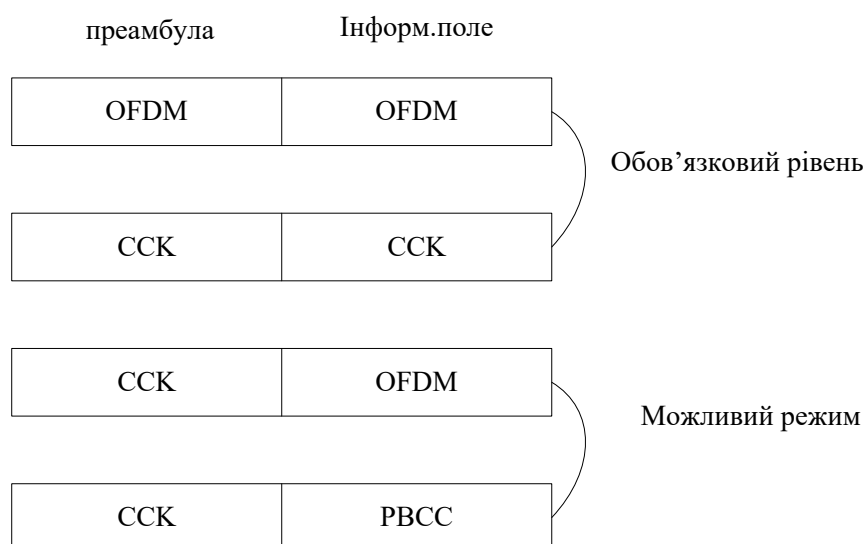


Рисунок 1.10 – Кадри 802.11g в різних режимах роботи

У змішаному режимі ССК-OFDM преамбула і заголовок модулюються методом ССК, а інформаційні поля методом OFDM. Таким чином, пристрої 802.11b, які постійно прослуховують ефір приймання заголовку кадрів і дізнаються скільки часу буде транслюватися кадр 802.11g. В цей час вони мовчать. Як і в стандарті 802.11b, в стандарті 802.11g було введено додаткову опцію передавання даних за допомогою РВСС-кодування. В цьому випадку заголовок і преамбула також модулюються методом ССК. В результаті всі пристрої стандарту 802.11g повинні бути сумісними зі всіма модифікованими обладнаннями 802.11b та не створювати взаємних завад.

Якщо ж пристрій 802.11g працює в режимі OFDM (тоді пристрої 802.11b не можуть його чути), то для запобігання виникнення колізій використовують принцип схожий на механізм при вирішенні проблеми прихованого терміналу, тоді транслюються кадри RTS/CTS. Проте цей захисний механізм значно знижує пропускну здатність мережі.

**Розширені версії стандарту 802.11g.** Існує дві основні технології поліпшення 802.11g. Перша – Broadcom 125\* High Speed Mode (спочатку Afterburner), яка видаляє з переданих даних всю службову інформацію, без якої не можна обійтися. Використовується стиснення даних і "frame bursting" (відправка більшої кількості пакетів з даними за той же час), а також деякі інші способи зниження обсягу службових даних.

Мережне обладнання, що використовують цю технологію, звичайно містить напис "125\* High Speed Mode", хоча Linksys віддає перевагу "SpeedBooster".

Друга технологія називається Atheros Super-G (або Super-AG для дводіапазонних продуктів). Super-G використовує подібні методи "frame bursting", стиснення та зменшення службових даних, але, крім них, вдається до суперечливого режиму "Turbo".

Режим "Turbo" (нинішня назва "Dynamic Turbo") передбачає об'єднання двох каналів для підвищення реальної пропускну здатності до 50 Мбіт/с. Однак досягається це ціною створення перешкод сусіднім мережам 802.11b і g. Хоча

Atheros кілька разів намагалася змінити режим "Turbo" так, щоб при його використанні сусідні мережі продовжували працювати нормально, режим Super-G як і раніше, не варто використовувати там, де близько є інші безпроводові мережі.

У документації устаткування, з підтримкою Super-G зазвичай вказується максимальна швидкість передавання 108Мбіт/с.

Часто збільшення швидкості можна отримати навіть при використанні обладнання різних виробників, але з умовою того, що пристрої підтримують одну й ту ж технологію. Якщо ж спробувати поєднати в одній мережі устаткування Super-G і 125\* і High Speed Mode, то пристрої відкотяться на "звичайний" стандарт 11g.

Переваги стандарту 802.11g:

- наявність широкого асортименту устаткування;
- відносно низька ціна;
- доступні технології поліпшення швидкості та радіусу дії.

Недоліками стандарту є:

- перешкоди з боку іншого 2,4-ГГц обладнання, в тому числі мікрохвильових печей, безпроводових телефонів і Bluetooth-пристроїв;
- перешкоди з боку сусідніх безпроводових мереж, оскільки доступні лише три непересічних каналу;
- пристрої однієї технології покращення 802.11g не можуть працювати з іншою;
- складно визначити, яка технологія покращення 802.11g використовується в даному випадку.

## **Висновки до розділу**

В даному розділі детально досліджено особливості фізичного та канального рівнів сімейства безпроводових локальних мереж IEEE 802.11. Визначено переваги та недоліки найпопулярніших стандартів 802.11, а саме:

1. Стандарт 802.11 працює в діапазоні 2,4 ГГц, та специфікаціями передбачено два значення швидкості передавання даних – 1 і 2 Мбіт/с.

2. Стандарт 802.11a є відгалуженням основного стандарту 802.11. Для збільшення пропускної здатності каналу використовується діапазон частот передавання 5 ГГц, а для передавання – метод множини несучих. Використання технології на основі методу OFDM в діапазоні частот 5 ГГц дозволяє досягти пропускної здатності 54 Мбіт/с. До недоліків 802.11a відносять більш високу потужність енергоспоживання радіопередавачів для частот 5 ГГц та менший радіус дії (обладнання для 2,4 ГГц може працювати на відстані до 300 м, а для 5 ГГц – близько 100 м).

3. Стандарт 802.11b першим отримав широке поширення, його використовують в обладнанні, де не високі вимоги до швидкості роботи мережі (Wi-Fi-телефони, стільникові системи передавання звуку, КПК, тощо). Підтримує передавання даних на швидкостях до 11 Мбіт/с через радіоканал в діапазоні близько 2,4 ГГц.

4. Стандарт 802.11g має пікову швидкість 54 Мбіт/с (реальну — близько 20 Мбіт/с) та зворотно сумісний зі стандартом 802.11b Для збільшення швидкості обміну даними застосований метод модуляції OFDM, а також метод двійкового пакетного згорткового кодування РВСС. Недоліком стандарту є проблема передавання потокового відео (стандарт працює в перевантаженому діапазоні 2,4 ГГц).

Головними недоліками кожного з стандартів, розглянутих у даному розділі, є те, що вони не дозволяють досягнути високої швидкості передавання, а також функціонування в перевантаженому діапазоні 2,4 ГГц. Подолати ці та інші недоліки здатні стандарти 802.1n та ac.



## **2 МЕТОДИ І ЗАСОБИ УДОСКОНАЛЕННЯ ПЕРЕДАВАННЯ КОНТЕНТУ В МЕРЕЖІ WI-FI**

### **2.1 Передавання відео в мережі Wi-Fi**

Сучасні інформаційні технології дозволяють надавати їх користувачам все більший спектр різноманітних послуг. Зокрема це відеозв'язок, онлайн трансляція та ін. Цей процес супроводжується удосконаленням засобів передавання інформації. Одним із найбільш поширених засобів став Wi-Fi. Разом з тим в умовах стабільного зростання частки кількості кінцевих пристроїв Wi-Fi в IP-мережі можливість передавання відео по безпроводовій локальній мережі створює нові проблеми для співробітників IT-підрозділів.

Кінцевим користувачам необхідний доступ до відеосервісів незалежно від місцезнаходження та виду обладнання, з однаковим рівнем і якістю сервісів. У багатьох безпроводові мережі не можуть економічно ефективно відповідати вимогам забезпечення безперервного зв'язку, високої пропускної здатності та якості сервісів з можливістю масштабування. Однак передавання відео є досить вимогливою послугою, що відразу ж виявляє всі слабкі сторони мережі. Мережа Wi-Fi повинна підтримувати надійне одночасне передавання декількох потоків відео, звуку і даних без переривання. В умовах, коли затримка, втрата пакетів і джиттер стають помітними візуально, корисність відео різко падає до нуля. Щоб бути якісним, відеозображення має бути чітким. До 2012 року передавання відео становило близько 90% всього трафіку Інтернету [9]. Тому насамперед розробники технології повинні усвідомлювати вимоги і складнощі, що виникають під час передавання відеоконтенту по мережі Wi-Fi, що дозволить повністю використовувати переваги такої трансляції.

### **2.2 Проблеми під час передавання відео в мережі Wi-Fi**

Використання мереж Wi-Fi для передавання відео створює певні складнощі в

порівнянні з провідними мережами. Ці проблеми виникають, оскільки для мережі Wi-Fi характерний ряд робочих характеристик, зокрема змінна швидкість передавання даних, втрата пакетів, які перешкоджають використанню традиційних підходів для отримання гарантованої якості обслуговування (quality of service, QoS). Для усвідомлення головних проблем, що виникають під час передавання відео по мережі Wi-Fi, необхідно розглянути характеристики кожного з цих факторів.

**Змінна швидкість передавання даних.** Першою істотною відмінністю між мережею Wi-Fi і провідною локальною мережею є те, що швидкість передавання даних по мережі Wi-Fi змінюється в часі і залежить від відстані між клієнтом і точкою доступу. Цим мережа Wi-Fi істотно відрізняється від традиційної провідної системи, яка, забезпечуючи робочу швидкість передавання даних наприклад 100 Мбіт/с [9] буде працювати з відносно стабільною швидкістю. У результаті зміни швидкості передавання даних у мережі Wi-Fi пропускна здатність для окремих відеопотоків і продуктивність мережі в цілому змінюється в часі.

Очевидно, що змінна пропускна здатність і продуктивність мережі створюють проблему при традиційному підході до якості обслуговування з резервуванням смуги пропускання і вхідним контролем (admission control). Наприклад, припустимо, що клієнт працює на швидкості 54 Мбіт/с [9] і видає запит на відеопотік 10 Мбіт/с. Система визначає, що необхідну ефірний час для нового потоку може бути забезпечено, і дозволяє передавання потоку. Проте потім клієнт віддаляється від точки доступу, і швидкість передавання даних клієнта падає до 6 Мбіт/с . Тоді підтримка передавання відеопотоку неможлива.

**Втрата пакетів.** Інша істотна відмінність між мережею Wi-Fi і провідною локальною мережею – відносна ненадійність транспорту на базовому рівні 2. Простіше кажучи, в мережі Wi-Fi втрачається значно більше пакетів, ніж у провідній мережі.

Першою причиною втрати пакетів є колізії, тобто спроби двох пристроїв Wi-

Fi передавати дані одночасно. У технології Wi-Fi використовується загальне напівдуплексне середовище передавання, і хоча метод доступу до середовища з прослуховуванням перед передаванням («listen-before-talk») намагається уникнути колізій, їх неможливо запобігти повністю. При наявності інших радіопристроїв, що працюють в тому ж діапазоні, що і пристрої Wi-Fi, ситуація тільки погіршується. Велика частина цих пристроїв навіть не використовує алгоритм прослуховування перед передаванням, тому колізії стають звичайним явищем.

Другою причиною втрати пакетів є схильність у мережі Wi-Fi до короткочасної відсутності сигналу (загасання). Ці загасання виникають внаслідок поглинання радіохвиль об'єктами, що знаходяться на їхньому шляху (наприклад, людьми), або відбиття хвиль у просторі, що призводить до випадкової відсутності сигналу.

Третя, найменш важлива причина втрати пакетів - здійснюваний системами Wi-Fi пошук найвищої швидкості передавання даних шляхом спроб передавання на різних швидкостях. У ході цього процесу пошуку деякі пакети втрачаються.

В умовах поєднання колізій, зникнення сигналу і підбору швидкості передавання даних не варто дивуватися, що системи Wi-Fi працюють з базовим показником частки помилкових пакетів (packet error rate, PER) до 5% [9]. Для компенсації цих втрат в технології Wi-Fi використовується механізм повторного передавання, за допомогою якого пакети, не одержані успішно, передаються повторно. Цей механізм зазвичай сприяє зниженню остаточної частки втрачених пакетів (packet loss rate, PLR) до величини менше 0,1%. Однак повторне передавання призводить до тремтіння (джиттеру) і витрачає загальну пропускну здатність мережі. Кожне з цих явищ може вплинути на якість обслуговування. Навіть при використанні механізму повторного передавання остаточною доля втрачених пакетів все ж значно перевищує показник, що зазвичай спостерігається в провідних мережах.

**Ненадійність під час багатоадресної розсилки.** Для трафіку під час

багатоадресної розсилки в мережі Wi-Fi показник базової частки помилкових пакетів грає навіть більш помітну роль. Під час багатоадресної розсилки (з декількома одержувачами) в технології Wi-Fi не використовується механізм повторного передавання.

В результаті для трафіку під час багатоадресної розсилки частка втрачених пакетів стає рівній частці помилкових пакетів. Іншими словами, для трафіку під час багатоадресної розсилки в мережі Wi-Fi характерна частка втрачених пакетів до 5%. Це становить серйозну проблему для передавання відео, при якій втрата навіть одного пакета може призвести до поширення помилки на безліч відеокадрів. У зв'язку з цим цілком логічно, що відеосервіси з багатоадресною розсилкою, що працюють в проводовій мережі, можуть бути абсолютно непрацездатні при роботі в мережі Wi-Fi.

### **2.3 Збільшення фізичної швидкості передавання**

Перший спосіб збільшення швидкості безпроводової передавання даних використовує кілька антен для передавача і приймача. Технологія називається множинним введенням / виведенням MIMO (multiple input multiple output). У разі її використання паралельно передається безліч сигналів, збільшуючи тим самим сумарну пропускну здатність. Взагалі, у MIMO досить багато переваг через одночасної передавання даних по різних каналах. Технологія використовує мультиплексування Spatial Division Multiplexing (SDM), тобто сигнал передається по декількох різних частотах, після прийому перетворюючись на швидкісний потік даних. Однак для реалізації MIMO на практиці необхідно, щоб для кожного потоку даних використовувалися свої антени прийому / передавання, ланцюги RF і АЦП. У той же час використання більше двох антенних ланцюгів RF може призвести до значного підвищення вартості пристрою, так що розробникам доведеться шукати певний баланс між швидкістю і ціною (рис 2.1).

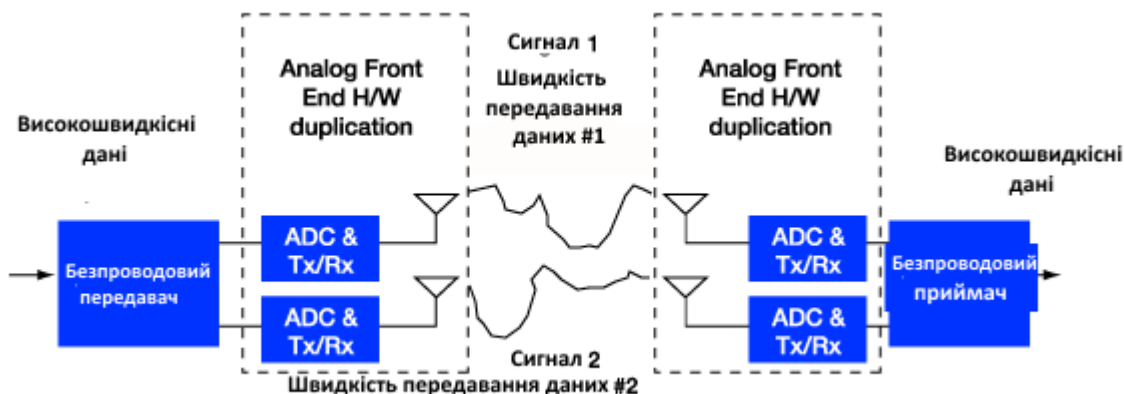


Рисунок 2.1 – Найпростіша система MIMO з двома антенними ланцюгами

Крім того, Intel пропонує підвищити швидкість безпроводового зв'язку, розширивши частотні діапазони каналів. В принципі, ідея ця аж ніяк не нова. З теореми Шеннона випливає, що теоретична межа пропускної здатності "C" підвищується при збільшенні частотного діапазону "B" ( $C = B \log_2(1 + \text{SNR})$ ) (рис.2.2).

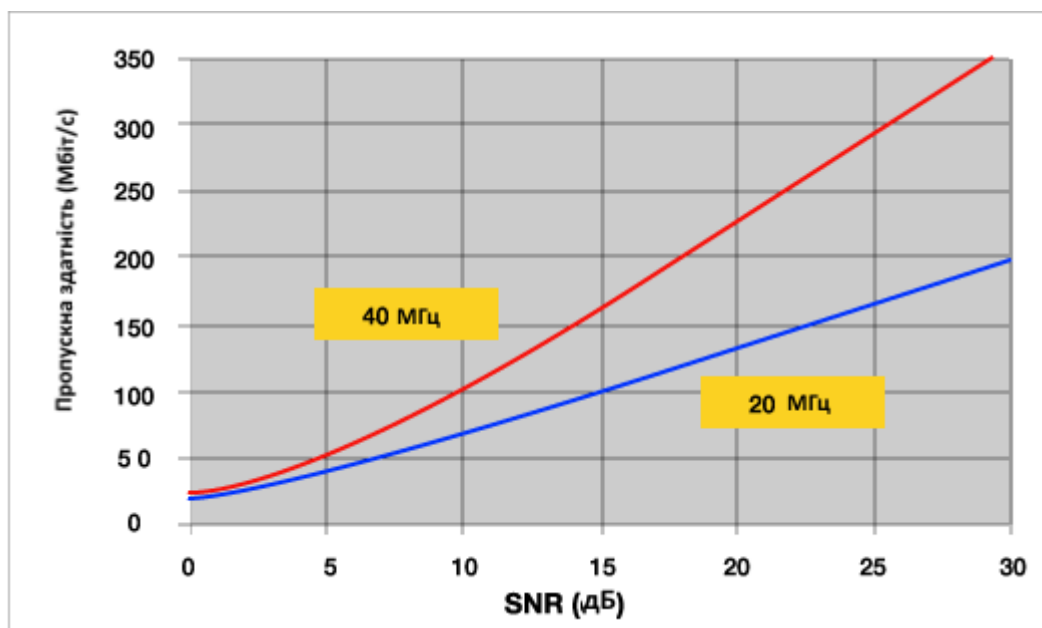


Рисунок 2.2 – Розширення частотного діапазону призводить до збільшення пропускної здатності каналу

Розширивши частотний діапазон, можна порівняно недорого і легко збільшити швидкість роботи мережі. При цьому навантаження на ЦСП виросте незначно. При гарній реалізації канали по 40 МГц можуть дати більш, ніж в два рази корисну пропускну здатність, ніж два канали старих стандартів 802.11. Додавши

до цього MIMO можна створити потужні і недорогі системи з високою швидкістю передавання.

Якщо ж використовувати MIMO з каналами по 20 МГц, то вартість такої системи зростає. Справа в тому, що потрібні нам 100 Мбіт / с на фізичному рівні тут можна отримати тільки при трьох антенних ланцюгах на передавачі і приймачі.

На наступному графіку наведена залежність теоретичної пропускної здатності ОТА від значення SNR, яке вимірювалося після спарювання каналів. Ефективність рівня MAC становить 70%, тобто реальні 100 Мбіт / с перетворюються на теоретичні 140 Мбіт/с. Графік дозволяє порівняти ефективність роботи мереж на 20-МГц і 40-МГц каналах. Розшифровка легенди наступна: "2x2-40 MHz" означає два потоки даних, дві антенні ланцюга на приймачі і передавачі і канали по 40 МГц (рис.2.3).

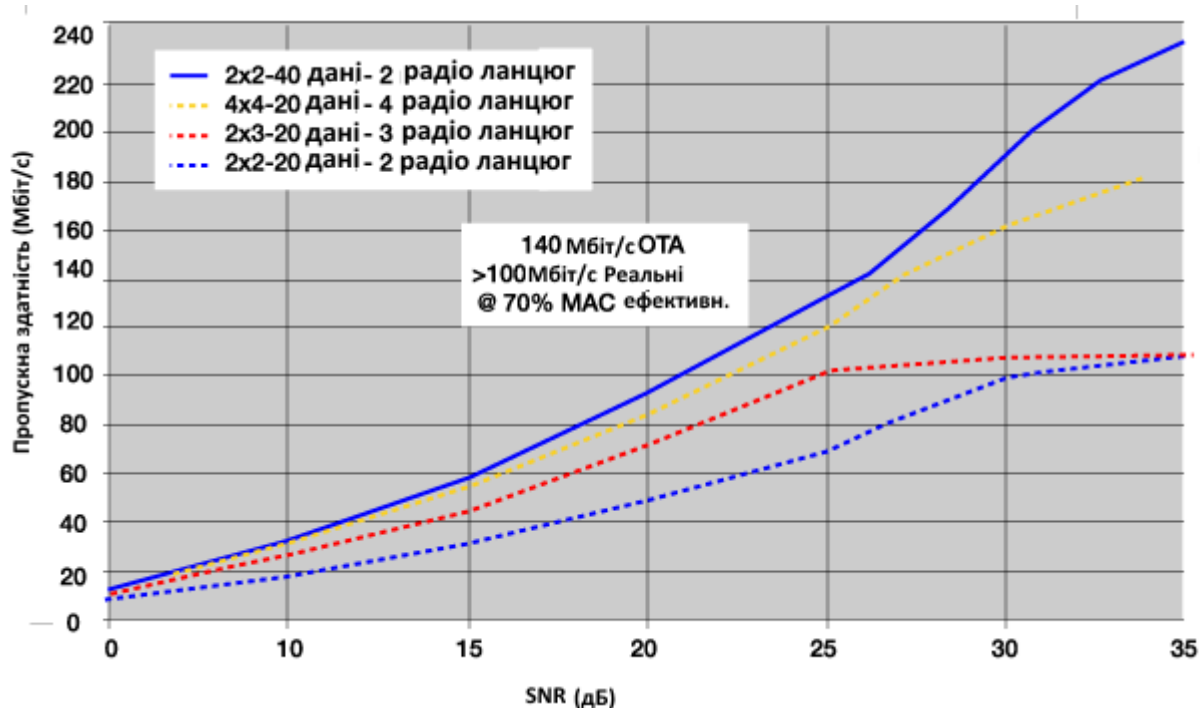


Рисунок 2.3 – Залежність теоретичної пропускної здатності від SNR, числа каналів і діапазонів

З рис. 1.9 видно, що реалізація 2x3-20 має кращий показник SNR, ніж 2x2-20. Це призвело до збільшення радіусу дії мережі при рівній швидкості. У той же час графік наочно показує, що використання двох потоків MIMO 20 МГц не до-

зволяє досягти мети в 100 Мбіт/с реальної швидкості. Для цього було використано три потоки МІМО, як ми вже говорили вище. Перевага підходу 2x2-40 тут очевидно. Зверніть увагу, що подвоєння числа RF-ланцюгів з каналами по 20 МГц і передача чотирьох потоків МІМО дає меншу продуктивність, ніж два канали по 40 МГц. Так що перехід на 40-МГц канали дозволило не тільки знизити складність і вартість систем, але і підвищило продуктивність.

Intel вважав, що спільне використання технологій дозволить виконати вимоги майбутнього (на той момент) стандарту 802.11n. Зробивши ставку на збільшення використовуваної смуги частот спільно з технологією МІМО, вдасться не тільки досягти необхідних 100 Мбіт/с, але і зберегти при цьому низьку вартість обладнання. Наприклад, використання 40-мегагерцових каналів і технології МІМО в майбутньому дозволить навіть перевершити вимоги стандарту в міру розвитку можливостей ЦСП (згадаймо закон Мура). Пристрої 802.11n підтримують як 20 МГц, так і 40 МГц канали, при цьому 40 МГц канали утворюються з двох суміжних 20 МГц. Таким чином, якщо частотний спектр буде перевантажений або необхідно зв'язатися за старим стандартом, пристрій може перейти на вузькі 20 МГц канали.

Щоб отримати фізичну швидкість 100 Мбіт/с 802.11n повинен підтримувати технологію МІМО не менше, аніж для двох потоків. Для цього потрібно мінімум дві антенні ланцюга на кожному пристрої стандарту 802.11n. Опціонально пристрої зможуть підтримувати і більше число потоків МІМО, але не більше чотирьох.

Крім того, в 802.11n внесені різні опціональні рішення, що збільшують пропускну здатність. Сюди відносяться збільшення числа антенних ланцюгів, адаптивні канали та технологія кодування FEC і т.д.

Звичайно ж, високу швидкість не можна отримати без ефективних механізмів управлінням фізичним рівнем. Хоча рівень MAC і не впливає безпосередньо на фізичну швидкість передавання, він відіграє важливу роль при виборі режимів оптимізації передавання РНУ. Спочатку зв'язок встановлюється засобами фізич-

ного рівня, а вже потім, з часом, підключиться MAC-рівень, який визначить довготривалі параметри зв'язку типу модуляції, кодування, конфігурації антен, частотних діапазонів каналів і т.д.

## **2.4 Підвищення ефективності передавання на MAC-рівні**

Звичайно ж, зміни торкнулися і MAC-рівня, який отримає нові функції. Важливо розуміти, що швидкість передавання істотно обмежується заголовками РНУ і затримками. На жаль, вони погано піддаються поліпшенню. Більше того, заголовки РНУ доводиться робити навіть більше, щоб підтримати нові режими.

У 802.11n введений режим передавання декількох кадрів MAC в блок даних фізичного рівня (агрегація). Також з'являються і блокові підтвердження (Block ACK) на запити декількох кадрів (BAR). Таким чином, тепер не потрібно починати процедуру передавання окремо для кожного кадру. Якщо не використовувати блокову передавання, то для швидкості 100 Мбіт / с знадобилися б 500 Мбіт / с на рівні РНУ.

Блокова передача даних буде працювати в обох напрямках. Що цікаво, Intel передбачає MAC-кадри нового формату, які дозволять створювати пакети РНУ з інформацією відразу для декількох клієнтів.

## **Висновки до розділу**

Використання мереж Wi-Fi для передавання відео створює певні складнощі в порівнянні з проводовими мережами. Ці проблеми виникають, оскільки для мережі Wi-Fi характерний ряд робочих характеристик, зокрема змінна швидкість передавання даних, втрата пакетів, які перешкоджають використанню традиційних підходів для отримання гарантованої якості обслуговування. Інша істотна відмінність між мережею Wi-Fi і проводовою локальною мережею – відносна ненадійність транспорту на другому базовому рівні. Простіше кажучи, в мережі Wi-Fi втрачається значно більше пакетів, ніж у проводовій мережі. Причинами втрати



пакетів є колізії, схильність у мережі Wi-Fi до короткочасної відсутності сигналу (загасання) та здійснюваний системами Wi-Fi пошук найвищої швидкості передавання даних шляхом спроб передавання на різних швидкостях.

Один зі способів збільшення швидкості безпроводової передавання даних використовує кілька антен для передавача і приймача. Технологія називається множинним введенням / виведенням MIMO (multiple input multiple output). У разі її використання паралельно передається безліч сигналів, збільшуючи тим самим сумарну пропускну здатність.

## 3 ОСОБЛИВОСТІ РАДІОІНТЕРФЕЙСУ 802.11AC

### 3.1 Еволюція стандарту IEEE 802.11ac

Стандарт IEEE 802.11ac відноситься до п'ятого покоління безпроводових мереж, прийшовши на заміну стандарту IEEE 802.11n.

20 січня 2011 року була прийнята перша чорнова редакція версії 0.1, 1 лютого 2013 року – версія 5.0 (завершена на 95%).

Згідно до даних групи розробників 802.11, новий стандарт повинен бути затверджений наприкінці 2013 року, проте дана технологія вже використовується.

Перші мікросхеми для 802.11ac були розроблені у листопаді 2011 року компанією Qualcomm.

У січні 2012 року Broadcom представила сімейство чіпів 5G Wi-Fi для точок доступу і ПК на виставці Consumer Electronics Show. Незабаром після цього, перші маршрутизатори були представлені такими компаніями, як Netgear, Belkin і Buffalo Technologies, та через деякий час іншими: ASUS і D-Link. На виставці Computex в червні 2012 року, компанія ASUS оголосила про вихід першого ноутбука з материнською платою нового стандарту.

У липні 2012 року, Broadcom представила BCM4335, перший комбінований чіп для смартфонів, планшетів, ультрабуків та інших мобільних пристроїв з підтримкою стандарту 802.11ac. Смартфони і планшетні ПК на базі нових BCM4335, як очікується, з'явиться на полицях в 1-2 кварталі 2013 року, дозволить споживачам скористатися всіма перевагами бездротового з'єднання.

Згідно даних, на квітень 2013 року виробники Quantenna, Broadcom, Buffalo, D-Link, Cisco вже представили чіпи, які підтримують роботу стандарту IEEE 802.11ac Draft 0.1, а також випущені на ринок пристрої, які використовують чорновий варіант даного стандарту.

Компанія Apple готується випустити Mac-комп'ютери на процесорах Intel Haswell, та крім ряду нововведень, повинні отримати підтримку стандарту безпроводових комп'ютерних мереж IEEE 802.11ac [6].

23 травня 2013 року компанія Quantenna Communications анонсувала вихід Wi-Fi чіпсету QSR1000, який базується на стандарті 802.11ac та здатний передавати дані зі швидкістю 1,7 Гбіт/с. Для забезпечення даної швидкості було додано в чіпсет підтримку технології MIMO з конфігурацією 4x4, тобто передавання даних одночасно по чотирьом каналам. Нові чіпи Quantenna будуть доступні для виробників у 3 кварталі 2013 року, і дозволять передавати Full HD відео та відео у форматі Ultra HD без затримок [3].

### 3.2 Пропускна здатність стандарту 802.11ac

Під час розробки нового стандарту безпроводової мережі основною метою було збільшення пропускної здатності зі збереженням сумісності з більш ранніми версіями стандарту (в змішаних мережах всі пристрої працюють незалежно від того, яку версію 802.11 вони підтримують).

Носієм інформації в безпроводових мережах є радіохвилі, частота коливань яких в стандарті 802.11n складає 2,4 ГГц. Безпроводова мережа 802.11ac працює на частоті 5 ГГц – звідси і більша пропускна здатність (рис 2.1).

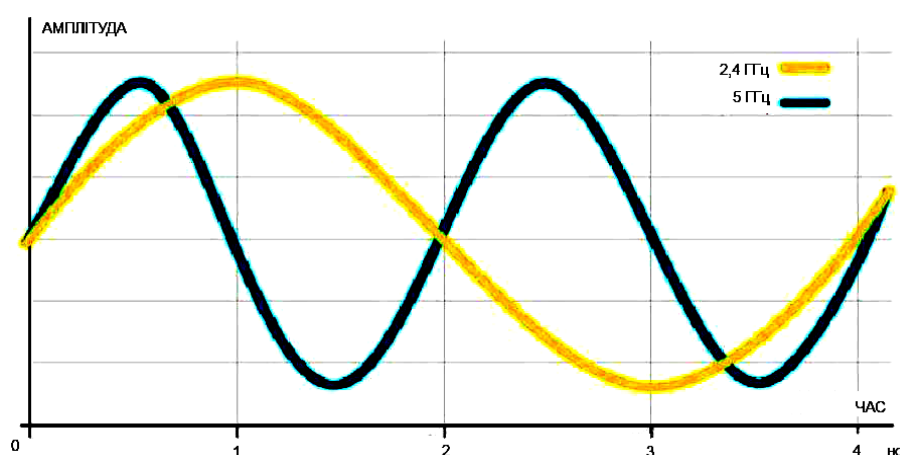


Рисунок 3.1 – Графік залежності амплітуди від часу для різних частот

В діапазоні 2,4 ГГц для безпроводової мережі передбачена вузька смуга частот в 80 МГц, тоді як діапазон 5 ГГц охоплює близько 380 МГц (рис.3.1). Звідси

більша кількість каналів більшої ширини (фіксованих частот, які розташовані на деякій відстані один від одного.), забезпечуючи більш високу швидкість передавання даних. Крім того, цей діапазон в порівнянні з 2,4 – гігагерцевим менш завантажений: останній займає не тільки всі маршрутизатори стандарту 802.11n/g, але й безпроводові телефони та радіо няні, мікрохвильові печі. Внаслідок великої кількості джерел завад пристрою, які працюють в діапазоні частот 2,4 ГГц, рідко виходять на максимально можливу пропускну здатність и переключаються на стабільний, проте повільний режим передавання даних [7].

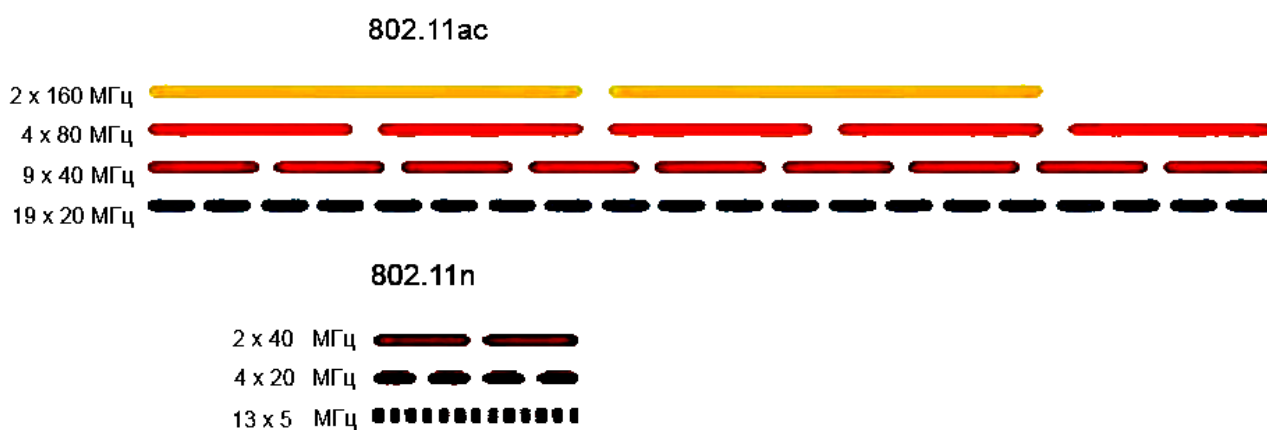


Рисунок 3.2 – Розділення каналів для стандартів 802.11ac та 802.11n

Пристрої, які належать до нового стандарту 802.11ac, в протигагу, здатні використовувати практично весь вільний діапазон частот 5 ГГц. Маршрутизатори попередніх стандартів безпроводової мережі, які працюють в даному діапазоні, більш схильні до впливу стін та перекриттів стелі, ніж пристрої в діапазоні 2,4 ГГц. Не дивлячись на це, маршрутизатори стандарту 802.11ac ефективно функціонують навіть за наявності стін, так як велика кількість каналів дозволяє отримати ширші можливості для ухилення від завад, а також маршрутизатори здатні цілеспрямовано випромінювати сигнал на клієнтське обладнання.

### 3.3 Технологія передавання даних MU-MIMO

В стандарті 802.11n використовується технологія MIMO (Multiple Input Multiple Output), та випромінюється один сигнал рівномірно у всіх напрямках для наявних в приміщенні клієнтів. В результаті кожен кінцевий пристрій взаємодіє з маршрутизатором протягом певного проміжку часу, що обмежує пропускну здатність. Завдяки технології MU-MIMO (Multi User MIMO) маршрутизатор стандарту 802.11ac передбачає де знаходиться кожен з клієнтів, і цілеспрямовано передає на цей пристрій одночасно декілька потоків даних, тобто може взаємодіяти з декількома пристроями (рис.3.3) [7], замість того, щоб швидко та неефективно перекидати сигнал з однієї точки доступу на іншу. Це стало можливим завдяки технології Beamforming (формування спрямованого сигналу, тобто динамічне змінювання діаграми спрямованості антен) (рис.3.4). Її суть полягає у наступному: маршрутизатор змінює складові сигналу для кожної з спрямованої антени таким чином, щоб в сторону клієнта сигнал підсилювався, а в усі інші – послаблювався. Для цього використовується ефект конструктивної та деструктивної інтерференції. Маршрутизатор стандарту 802.11ac з вісьмома антенами здатен таким чином ефективно взаємодіяти з чотирма різними пристроями, кожне з яких оснащено двома антенами.

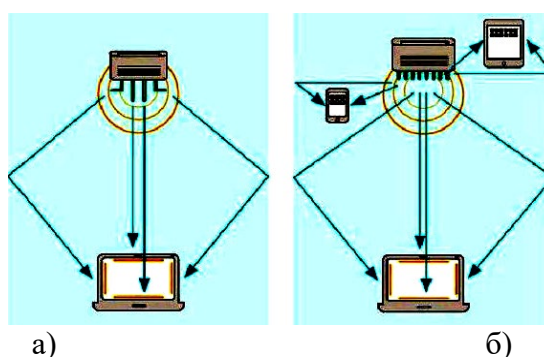


Рисунок 3.3 – Зв'язок маршрутизатору з клієнтськими пристроями у випадку використання:

- а) технології MIMO (стандарт 802.11n),
- б) технології MU-MIMO (стандарту 802.11ac)



Wi-Fi сьогодні



802.11ac з технологією Beamforming

### Рисунок 3.4 – Ілюстрація роботи технології Beamforming

Beamforming не тільки покращує поширення сигналу на відкритій території, але також допомагає не зменшувати сигнал через проходження крізь стіни. Якщо раніше маршрутизатор забезпечував вкрай нестабільний зв'язок з низькою швидкістю у сусідній кімнаті, то з 802.11ac якість прийому в тій же самій точці набагато краще.

Підтримка Beamforming є і в стандарті 802.11n, проте зважаючи на відсутність загальноприйнятих норм технологія працює тільки між маршрутизатором та кінцевими пристроями одного виробника.

Реалізація MU-MIMO в 802.11ac може бути у 2 варіантах: SDMA (Space Division Multiple Access), який дозволяє передавати дані різним клієнтам по різним Spatial Streams (просторовим потокам) за допомогою технології Beamforming та Downlink MIMO, який дозволяє розбити підносійні OFDM на групи та динамічно виділяти кожному клієнту необхідну кількість підносійних.

### 3.4 Методи модуляції стандарту 802.11ac

Покращення метода модуляції в новому стандарті, збільшують густину даних в сигналі безпроводової мережі.

Безпроводове з'єднання встановлюється після того, як передавальний пристрій відправляє радіохвилю певної частоти, а приймальний – налаштовується на неї. Біти транслюються завдяки тому, що передавальна техніка модулює носійний сигнал. Приймальний пристрій аналізує зміни в сигналі та перетворює їх в

відповідні біти. Існує кілька методів модуляції – серед них і квадратурна (16-QAM), яка використовується в безпроводових мережах стандарту 802.11g/n. При цьому передавальний пристрій ділить потік даних на декілька частин розміром чотири біти. При чотирьох бітах допускається 16 різних символів, які можуть об'єднуватись в будь-яку послідовність бітів. Символи відповідають вказаним координатам "фаза" та "амплітуда" (рис3.5) [7].

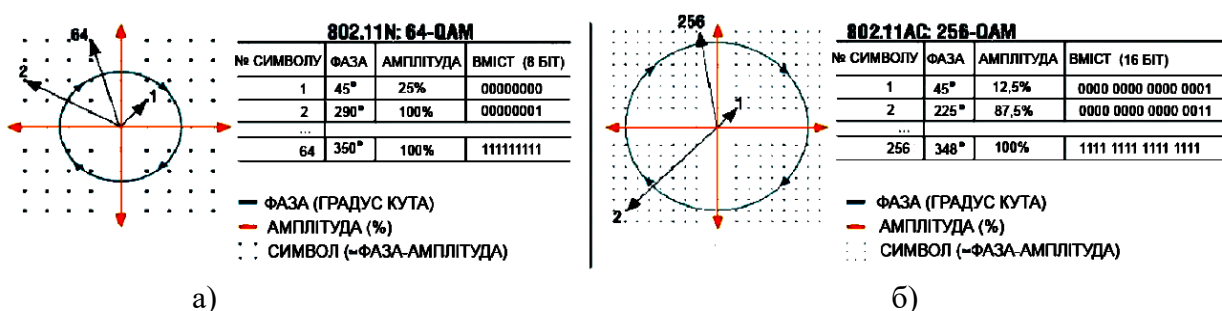


Рисунок 3.5 – Методи модуляції даних

а) 64-QAM (стандарт 802.11n )

б) 256-QAM (стандарт 802.11ac)

Амплітуда (інтенсивність) та фаза (взаємне зміщення двох радіохвиль) сигналу піддаються аналізу, після чого на основі цих значень формується так званий символ, який в стандарті 802.11ac складає до 16 біт.

Для відправки символів передавальний пристрій вивчає дві радіохвилі, які мають для кожної частини потоку даних однакові амплітуди, проте зміщенні відносно один одного по фазі на деякий проміжок часу. За цими двома координатами приймальний пристрій визначає, який з 16 символів мається на увазі в даному випадку, і знову об'єднує потік бітів, використовуючи чотири біти на такт. При необхідності збільшити об'єм інформації символу з чотирьох до восьми бітів необхідні більш точні координати. Метод модуляції 64-QAM стандарту 802.11n передбачає до восьми біт на символ, тоді як в 802.11ac (модуляція 256-QAM) їх кількість досягає 16. Якщо потужність сигналу низька, наприклад, якщо пристрої розташовані на великій відстані один від одного, то не можливо ідентифікувати

координати з необхідною високою точністю. Механізми контролю визначають це і перемикаються на більш простий метод модуляції з меншою кількістю символів [8].

Через те, що маршрутизатори стандарту 802.11ac можуть підтримувати роботу безпроводових мереж одночасно двох типів (802.11ac та 802.11n), вони використовують так звані "спадкові поля" (Legacy fields), які дозволяють уникнути конфліктів між пакетами даних цих мереж.

### **3.5 Енергоспоживання**

Економне споживання енергії є однією з найсильніших сторін стандарту 802.11ac. Чіпи на базі цієї технології прогнозують у всі мобільні пристрої, тому що це 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.

Крім того, 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

Очікується, що в смартфонах та планшетах будуть використовуватись енергоефективніші контролери Wi-Fi 802.11ac зі швидкістю передавання даних від 433 Мбіт/с до 866 Мбіт/с. [9].



### 3.6 Мережний міст з підтримкою стандарту 802.11ac

Мережний міст – це мережний пристрій, призначений для об'єднання сегментів мережі передавання даних в єдину мережу. Він працює на каналному (другому) рівні моделі OSI (моделі взаємодії відкритих систем).

На рис. 3.6 зображений мережний міст, організований за допомогою 2 маршрутизаторів (які підтримують технологію 802.11ac). Один з приладів налаштовано як маршрутизатор, а інший – як міст [7].

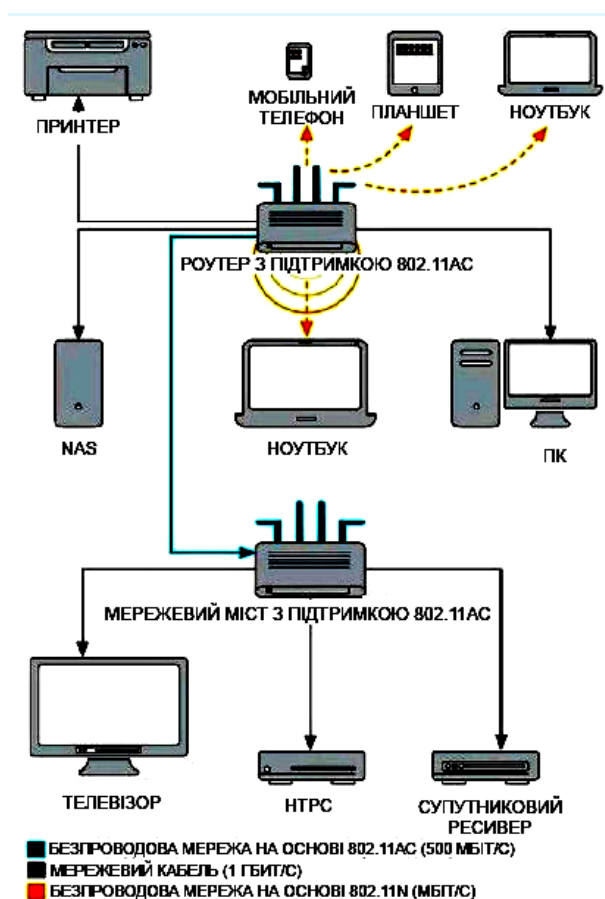


Рисунок 3.6 – Високошвидкісний мережний міст з підтримкою стандарту 802.11ac

Маршрутизатор розміщено поряд з розеткою виділеної лінії та підключено необхідні пристрої через проводований та безпроводовий інтерфейси. В іншому

приміщенні встановлено мережний міст або маршрутизатор, налаштований на роботу в режимі моста, та пов'язаний з першим маршрутизатором високошвидкісною безпроводовою мережею стандарту 802.11ac. Дані пристрої надають доступ в мережу для телевізора і / або НТРС по проводовому зв'язку. У результаті можна переглядати на телевізорі HD-фільми, розміщені в мережевому сховищі (NAS) або копіювати ТВ-програми з ресивера на комп'ютер зі швидкістю стандарту 802.11ac.

### 3.7 Особливості стандарту 802.11ax

Новий стандарт також має назву High-Efficiency Wireless та має такі характеристики:

- 802.11ax зможе функціонувати і в 5 GHz, і в 2,4 GHz діапазонах;
- Підтримує всі базові частотні смуги аж до 160 MHz;
- MIMO 8x8, до 8 просторових потоків.
- MU-MIMO в двох напрямках (DL і UL).
- Істотно зростає потенціал просторового мультиплексування і зводяться до нуля основоположні обмеження основного стандарту 802.11, який характеризується природою half-duplex. Тобто, вже сьогодні клієнти з підтримкою MU-MIMO мають можливість взаємодіяти з точкою доступу 802.11ax одночасно в двох напрямках.
- Збільшився перелік типів модуляції до 1024QAM.
- Значення OFDM символу в 4 рази більше, ніж в рішеннях по стандарту 802.11ac.
- Оновлені схеми передачі преамбули і повторної перевідправки, в теорії, зможуть гарантувати пару додаткових dB посилення порівняно з 802.11ac. Це може служити підмогою для створення поліпшеного покриття.

За рахунок застосування всіх розглянутих механізмів в комбінації, новітній стандарт 802.11ax зможе вийти на фізичні швидкості - 10Gbps, гарантувати пов-

ноцінне паралельне функціонування значної кількості абонентського обладнання і користуватися повним обсягом всього доступного «неліцензованому» діапазону частот. Маючи в козирі такий рівень швидкості, що розглядається стандарт зможе стати вагомим конкурентом для майбутніх мобільних мереж покоління 5G в області забезпечення фіксованого бездротового доступу.

802.11ax буде від 4x до 10x швидше, ніж існуючий Wi-Fi, але варто пам'ятати, що більш широкі і множинні канали значно збільшують пропускну здатність. Наприклад, якщо припустити, що швидкість збільшується в 4 рази з 160 МГц каналами, швидкість одного потоку 802.11ax буде 3,5 Гбіт/с. Еквівалентну з'єднання 802.11ac буде складати 866 Мбіт/с. Навколишнє середовище 4x4 MIMO призведе до сумарної ємності близько 14 Гбіт/с. Клієнтський пристрій, що підтримує два або три потоки, буде легко перевищувати 1 Гбіт/с. Якщо ви збиваєте ширину каналу до 40 МГц, що може статися в переповнених областях, таких як стадіони, один потік 802.11ax становитиме близько 800 Мбіт/с на загальну ємність 3,2 Гбіт/с. Незалежно від розміру каналу, 802.11ax забезпечить величезне зростання швидкості і загальної місткості.

### 3.8 Переваги та недоліки стандарту 802.11ax

Переваги нового стандарту 802.11ax і порівняння з сімейством 802.11

Підсумовуючи, основні особливості 802.11ax:

- 802.11ax зможе працювати як в 5GHz, так і в 2.4GHz.
- Підтримка всіх основних частотних смуг, аж до 160MHz.
- MIMO 8x8, до 8 просторових потоків.
- MU-MIMO в обох напрямках (DL і UL).
- Значно збільшуються можливості просторового мультиплексування і повністю нівелюються фундаментальні обмеження базового стандарту 802.11, які має напівдуплексний природу. Тепер клієнти з підтримкою MU-MIMO можуть взаємодіяти з точкою доступу 802.11ax паралельно в обидві сторони.

- Розширено ряд доступних схем кодування аж до 1024QAM.
- Величина OFDM символу в чотири рази більше, ніж в рішеннях по стандарту 802.11ac.
- Нові схеми посилення передачі преамбули і повторної перепосилкі теоретично можуть забезпечити кілька додаткових dB посилення в порівнянні з 802.11ac. Це може створити умови для отримання кращого покриття.

Використовуючи всі описані механізми в комбінації новий стандарт 802.11ax здатний виходити на фізичні швидкості рівня 10Gbps, забезпечувати повноцінну паралельну роботу безлічі клієнтських пристроїв і використовувати весь доступний неліцензований частотний діапазон.

Цікаво також порівняти новий стандарт IEEE 802.11ax як з поточним 802.11ac, так і з усе ще популярним 802.11n, а також з більш старими стандартами.

Нижче на рисунку 3.7 представлена таблиця, яка дає уявлення про основні відмінності між усіма основними стандартами, що відносяться до сімейства Wi-Fi.

Стандарт	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n	802.11ac	802.11ax
Рік ратифікації	1999	1999	2003	2009	2014	2017-2019
Робоча частота	5 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4/5 GHz	5 GHz	2.4/5 GHz
Частотні канали	20 MHz	20 MHz	20 MHz	20/40 MHz	20/40/80/160 MHz	20/40/80/160 MHz
Пікова фізична швидкість	54 Mbps	11 Mbps	54 Mbps	600 Mbps	6.8 Gbps	10 Gbps
Максимальна кількість SU-потоків (SU streams)	1	1	1	4	8	8
Максимальна кількість MU-потоків (MU streams)	NA	NA	NA	NA	4	8
Модуляція	OFDM	DSSS, CCK	OFDM	OFDM	OFDM	OFDM, OFDMA
Тип та швидкість кодування	64-QAM, 3/4	CCK	64-QAM, 3/4	64-QAM, 5/6	256-QAM, 5/6	1024-QAM, 5/6
Максимальна кількість тонів OFDM	64	NA	64	128	512	2048
Рознесення субтонів	312.5 kHz	NA	312.5 kHz	312.5 kHz	312.5 kHz	78.125 kHz

Рисунок 3.7 - Таблиця порівняння стандартів Wi-Fi

## Висновки до розділу

В даному розділі досліджено особливості радіоінтерфейсу та еволюцію 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, який забезпечує вищу швидкість і в порівнянні з діапазоном 2,4 ГГц та менш схильний до завад.

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

3. Технологія Beamforming (формування спрямованого сигналу, динамічне змінювання діаграми спрямованості антен) не тільки покращує поширення сигналу на відкритій території, але також допомагає не зменшувати сигнал через проходження крізь стіни.

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 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.

## 4 МОДЕЛЮВАННЯ ПОКРИТТЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ СТАНДАРТУ 802.11AC

### 4.1 Вибір обладнання

Для моделювання було використано безпроводову дводіапазонну точку доступу D-Link DAP-3662 бо вона є найоптимальнішим рішенням для створення зон hot spot. Завдяки надійному захисту від бризок, який відповідає стандарту IP68 і забезпечує захист від пилу і вологи, а також підтримці безпроводового стандарту 802.11ac і потужним антен, дана точка доступу чудово підходить для установки в будь-яких приміщеннях. На рисунку 4.1 представлений зовнішній вигляд обраної точки доступу.



Рисунок 4.1 - Зовнішній вигляд D-Link DAP-3662

#### 4.1.1 Переваги D-Link DAP-3662

Перевагами D-Link DAP-3662 є:

- 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) (яка дозволяє точці доступу DAP-3662 автоматично пріоритетувати мережевий трафік відповідно до рівня інтерактивної потокової передачі, наприклад, HD-відео або VoIP), точка доступу DAP-3662 є ідеальним рішенням для передачі аудіо, відео і голосових даних. Функцію QoS можна відрегулювати через Web-інтерфейс точки доступу DAP-3662. Також, DAP-3662 підтримує функцію балансування навантаження для забезпечення максимальної продуктивності за рахунок обмеження кількості користувачів на точку доступу. DAP-3662 також підтримує розширені функції, такі як балансування навантаження і резервування для безвідмовної роботи безпроводового з'єднання.

– Безпека:

Щоб забезпечити високий рівень захищеності мережі DAP-3662 підтримує обидві версії стандартів WPA і WPA2 (802.11i), а також фільтрацію по MAC-адресами, функцію заборони мовлення SSID, сегментацію безпроводової мережі, внутрішній RADIUS-сервер, який дозволяє створювати облікові записи користувачів в самому пристрої, функцію мовлення безпроводової мережі за розкладом і виявлення несанкціонованих точок доступу. В даній точці доступу реалізований механізм ізоляції безпроводового клієнта, який обмежує пряму взаємодію типу "клієнт-клієнт". DAP-3662 підтримує до 8 SSID на частотний діапазон, що дозволяє використовувати кілька VLAN для сегментації користувачів в мережі. Також підтримує Network Access Protection (NAP), функцію Windows Server® 2008, що дозволяє мережевим адміністраторам, виходячи з потреб кожного клієнта, задати кілька рівнів мережевого доступу.

– Кілька режимів роботи:

DAP-3662 можна налаштувати в одному з наступних режимів роботи: точка доступу, Wireless Distribution System (WDS) з точкою доступу, WDS / Міст (No AP Broadcast), безпроводовий клієнт. Завдяки підтримці WDS (Wireless Distribution

System), можна встановлювати кілька точок доступу DAP-3662 і налаштовувати їх на роботу один з одним в режимі моста, одночасно забезпечуючи доступ до мережі окремим клієнтам.

– Багатофункціональність:

DAP-3662 дозволяє створювати керовану і надійну безпроводову мережу з оптимальним покриттям як в частотному діапазоні 5 ГГц (802.11a, 802.11n і 802.11ac), так і в діапазоні 2,4 ГГц (802.11b, 802.11g і 802.11n).

- Мережеве управління:

Існує кілька можливостей управління з'єднано через точку доступу: Telnet, Secure Shell (SSH, який забезпечує безпечний канал між точкою доступу і віддаленим комп'ютером), Secure Socket Layer (SSL, який забезпечує безпечне з'єднання з Web-інтерфейсом) і Web-інтерфейс (HTTP). Також пристроєм підтримується функція безпроводового планувальника, яка при необхідності вимикає функціонал безпроводової мережі, тим самим економлячи електроенергію. Завдяки високій керованості, надійним функцій безпеки, підтримці PoE і кільком режимам роботи, точка доступу DAP-3662 є найбільш оптимальним рішенням, що дозволяє створити безпроводову мережу.

## 4.2 Моделювання

Для виконання практичної частини було змодельоване приміщення в програмі «EkaHau Site Survey» версії 8.6.2.

На плані приміщення з зазначеним масштабом та розміткою кімнат, дверей і вікон при створенні моделі були нанесені цегляні стіни (затлумлення сигналу при проходженні крізь них становить 10.0 дБ), зовнішні та внутрішні несучі стіни, внутрішні стіни (3дБ), внутрішні двері (4дБ), також на плані приміщення присутні сталеві входні двері (13дБ) та вікна (3дБ).

На плані є вестибюль – 35,18 м<sup>2</sup>, кімната охорони площею 3,7 м<sup>2</sup>, 4 офісних кабінети з площами 9,29 м<sup>2</sup>, 10,53 м<sup>2</sup>, 17,18 м<sup>2</sup>, 32,24 м<sup>2</sup>, торгівельний



зал площею 54,45 м<sup>2</sup>, а також кабінет директора площею 18,54 м<sup>2</sup>. Окрім того, є коридор, кухня та два туалети.

Обране нами обладнання може працювати як в режимі 802.11n на частоті 2,4 ГГц, так і в режимі 802.11ac на частоті 5 ГГц, а також в змішаному режимі (802.11n + 802.11ac).

В кутку найбільшої з кімнат (торгівельного залу - 54,45 м<sup>2</sup>) було розміщено точку доступу.

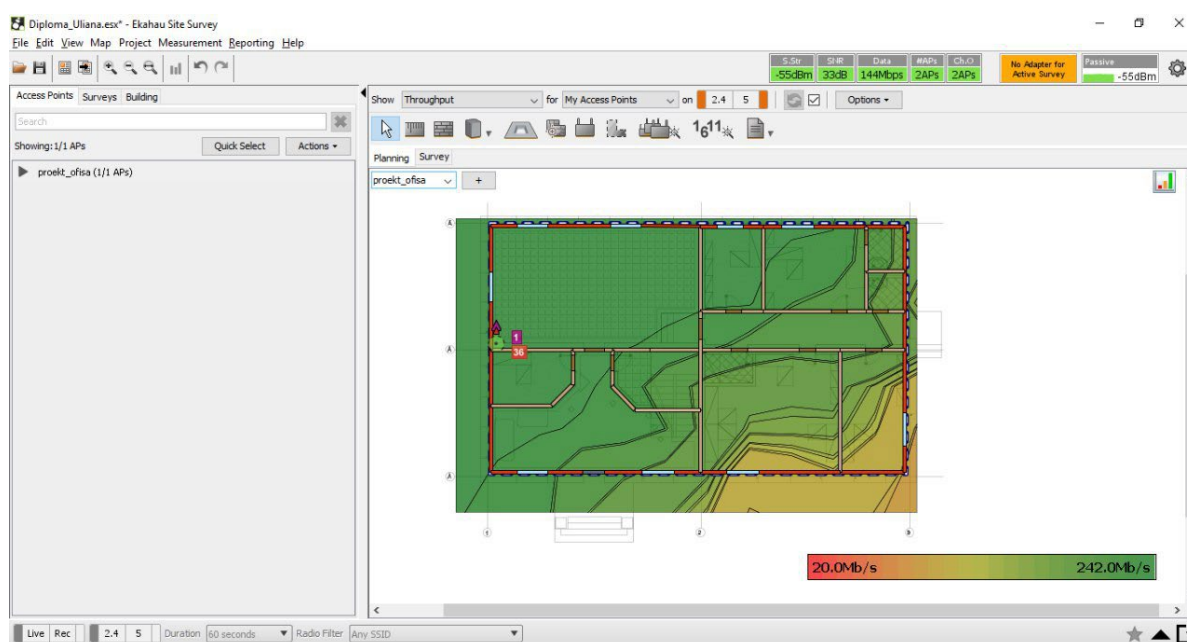


Рисунок 4.2 - Результати аналізу пропускної здатності точки доступу в змішаному режимі

З рисунку видно, що площа приміщення зафарбована різними кольорами, в залежності від пропускної здатності в даній області. Шкала відповідності швидкості передачі даних (в даному випадку вона проградуєрована від 20 Мб/с до 242 Мб/с) кольору знаходиться в правому нижньому кутку вікна програми.

Як можна бачити, в торговельному залі, де встановлено точку доступу, швидкість передачі найбільша та майже на всій площі становить 242 Мб/с. Але чим далі від точки доступу, тим більше вона знижується та є найнижчою (зі значенням приблизно 80 Мб/с) в районі найдалшого кабінету.

Далі проаналізуємо пропускну здатність при роботі в частотному діапазоні 5ГГц, що відповідає стандарту 802.11ac.

Результати аналізу наведено на рисунку 4.3.

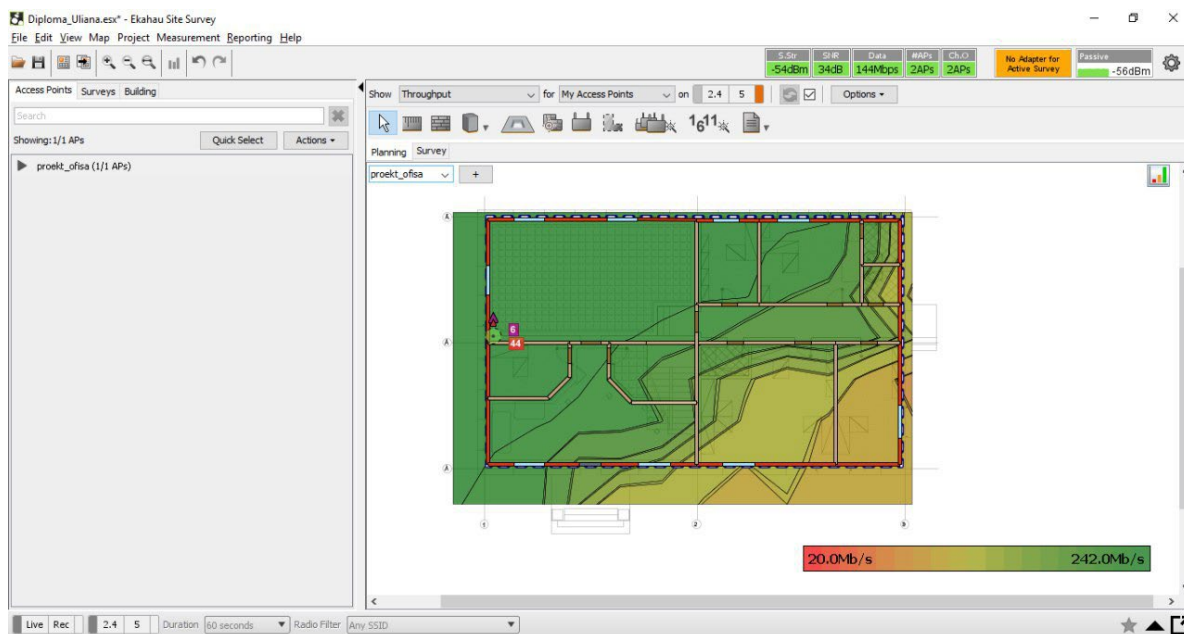


Рисунок 4.3 - Результати аналізу пропускну здатності точки доступу в режимі 802.11ac

Як можна бачити, загальна тенденція зниження швидкості по мірі віддалення від точки доступу зберігається, значення максимальної швидкості залишається незмінним та рівним 242Мб/с, а от мінімальна швидкість сягнула майже 30 Мб/с, що набагато гірше (в 4 рази нижча швидкість) в порівнянні з попереднім дослідом.

Тепер проаналізуємо пропускну здатність при роботі в частотному діапазоні 2,4ГГц, що відповідає стандарту 802.11n.

Результати аналізу наведено на рисунку 4.4.

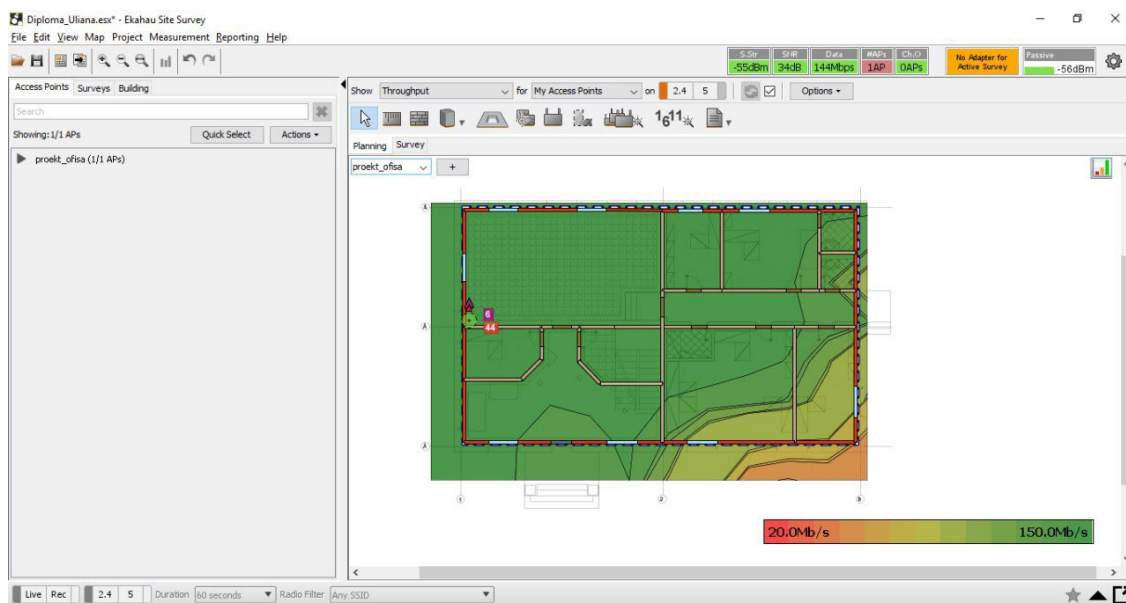


Рисунок 4.4 - Результати аналізу пропускної здатності точки доступу в режимі 802.11n

В цьому випадку максимальна швидкість становила 150 Мб/с, її можна було отримати не лише в приміщенні, де встановлена точка доступу, а й в сусідніх офісних приміщеннях. Картина більш «рівномірна» з незначним (в порівнянні з попередніми дослідженнями) падінням швидкості до 130 Мб/с в частині кімнати відпочинку.

#### 4.2.1 Аналіз рівня сигналу однієї точки доступу

А зараз виконаємо аналіз рівня сигналу в змішаному режимі (802.11n + 802.11ac), коли точка доступу працює в частотах 2,4ГГц та 5ГГц одночасно. Результати аналізу наведено на рисунку 4.5.

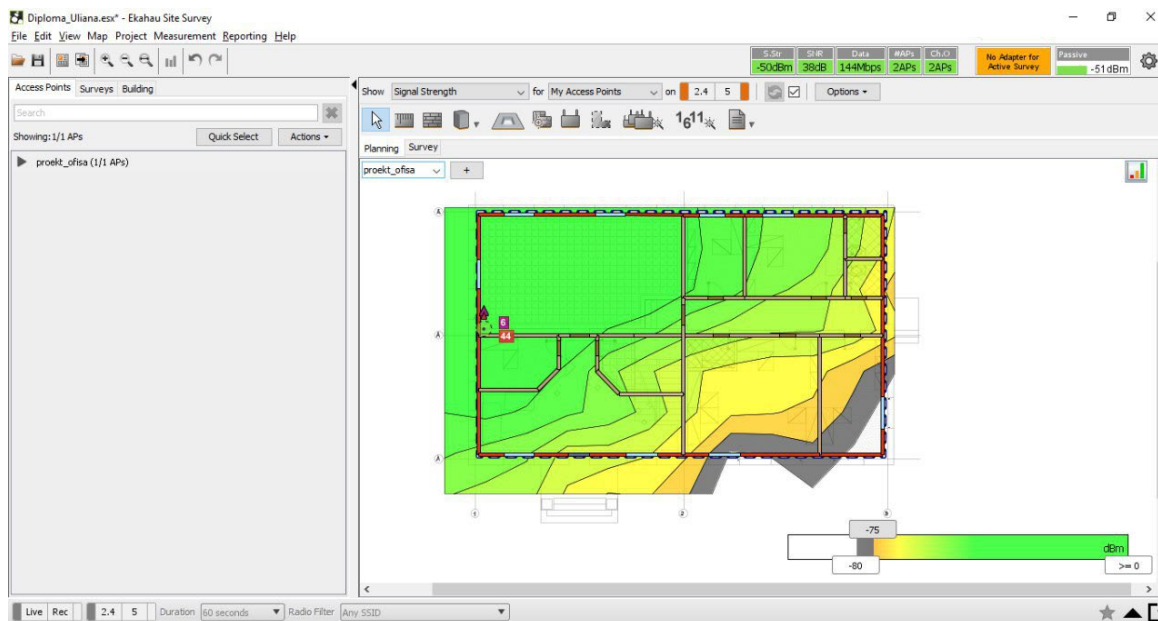


Рисунок 4.5 - Результат аналізу рівня сигналу в змішаному режимі

З рисунку видно, що затухання сигналу в кімнаті відпочинку становить 80дБм. Тепер виконаємо аналіз рівня сигналу в режимі 802.11ac, коли точка доступу працює на частоті 5ГГц.

Результати аналізу представлено на рисунку 4.6.

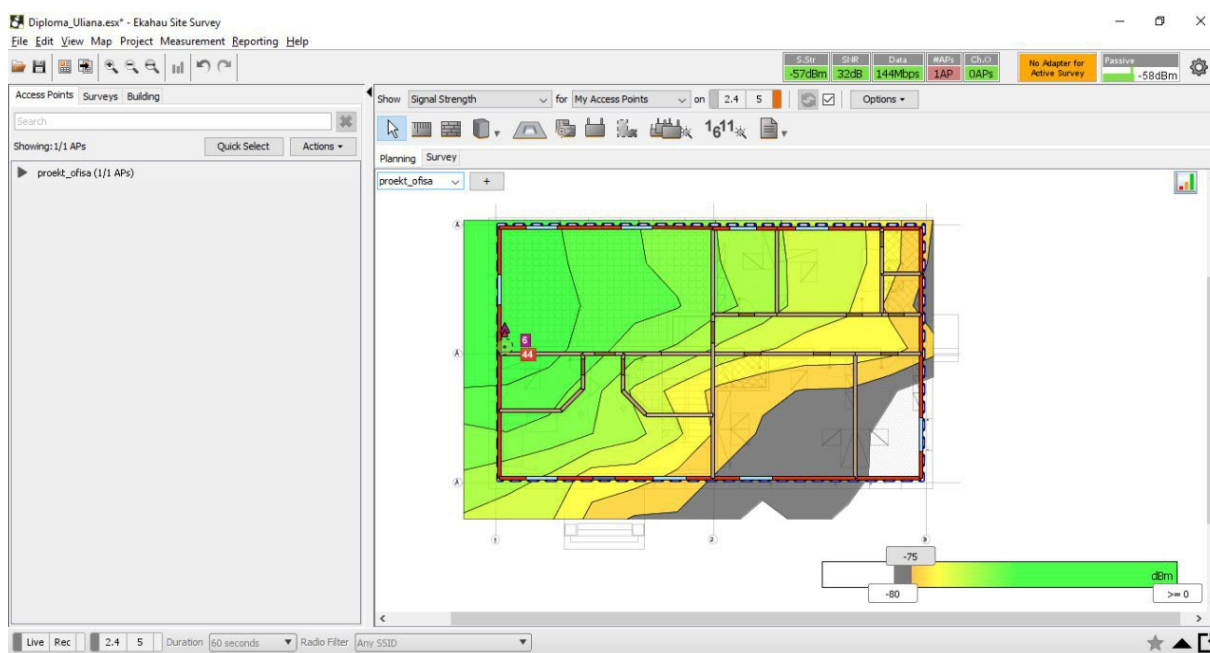


Рисунок 4.6 - Результат аналізу рівня сигналу в режимі 802.11ac

Бачимо, що сигнал має недостатню силу (недостатній рівень сигналу) для забезпечення функціонування мережі в кімнаті відпочинку та у прилеглих офісних приміщеннях.

Тепер виконаємо аналіз рівня сигналу в режимі 802.11n, коли точка доступу працює на частоті 2,4ГГц.

Результати аналізу представлено на рисунку 4.7.

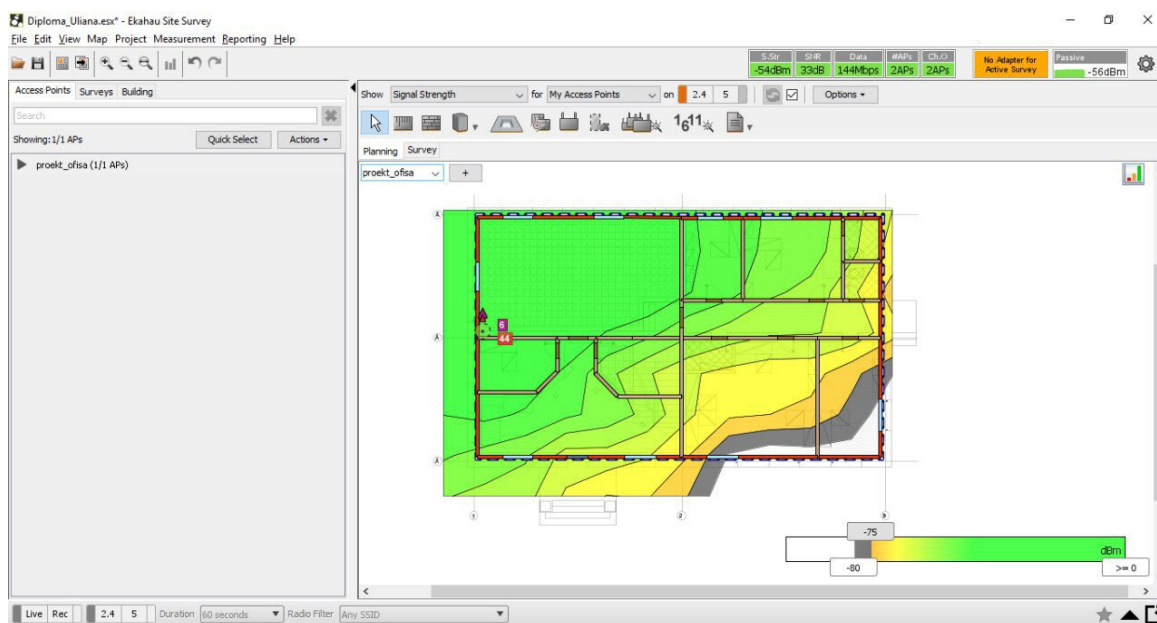


Рисунок 4.7 - Результат аналізу рівня сигналу в режимі 802.11n

Отримані результати аналогічні тим, що були в змішаному режимі.

#### 4.2.2 Встановлення другої точки доступу

З метою забезпечення достатнього рівня сигналу та високої пропускної здатності в областях, де є в цьому необхідність, а саме у самому великому кабінеті на плані, встановлюємо другу, аналогічну попередній точку доступу.

### 4.2.3 Аналіз пропускної здатності двох точок доступу

Спочатку виконаємо аналіз пропускної здатності (швидкості) двох точок доступу в змішаному режимі (802.11n + 802.11ac), коли кожна точка доступу працює в частотах 2,4ГГц та 5ГГц одночасно.

Результати аналізу наведено на рисунку 4.8.

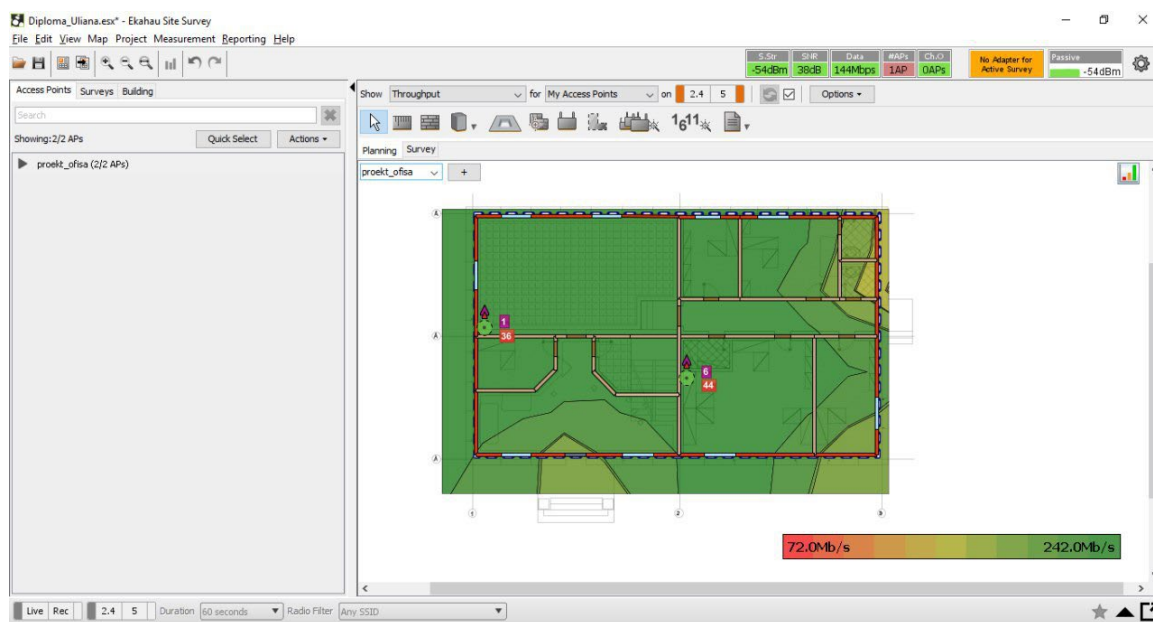


Рисунок 4.8 - Результати аналізу пропускної здатності точок доступу в змішаному режимі

Як можна бачити, максимальна швидкість становить 242 Мб/с та досягається в зоні, де при одній точці доступу спостерігалась мінімальна швидкість. У цьому випадку мінімальна швидкість становить 72 Мб/с та спостерігається в туалетах, що, в принципі, не критично та загалом значно краще випадку з однією точкою доступу. Але, все ж, ситуація може бути кращою, бо в декільках кабінетах та вестибюлі ми маємо швидкість 222 Мб/с, що на 20 Мб/с нижча від максимальної.

Далі проаналізуємо пропускну здатність при роботі в частотному діапазоні 5ГГц, що відповідає стандарту 802.11ac.

Результати аналізу наведено на рисунку 4.9.

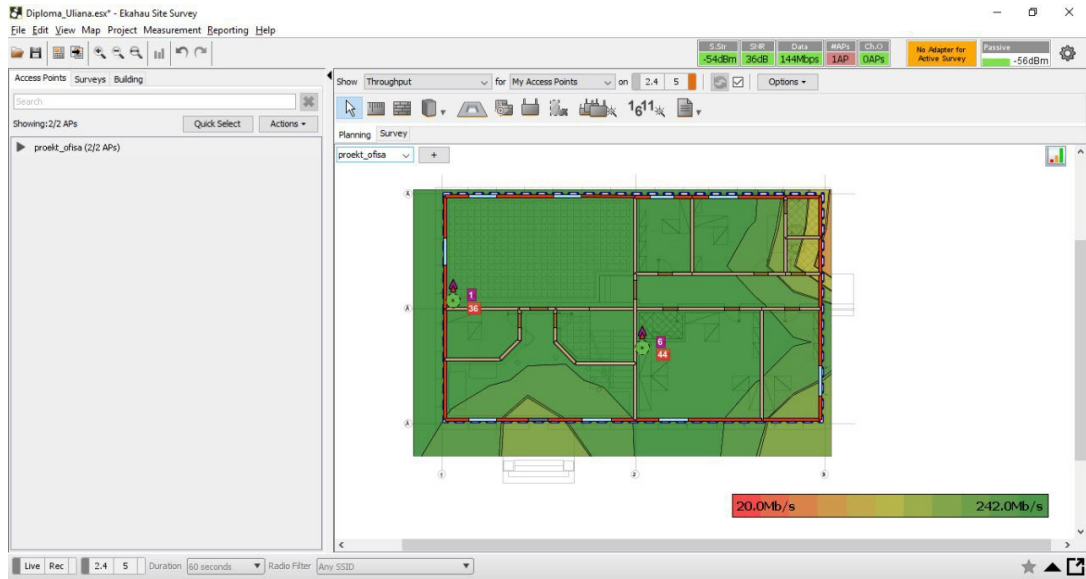


Рисунок 4.9 - Результати аналізу пропускної здатності точок доступу в режимі 802.11ac

Отримані результати повністю повторюють результати аналізу змішаного режиму роботи.

Тепер проаналізуємо пропускну здатність при роботі в частотному діапазоні 2,4ГГц, що відповідає стандарту 802.11n.

Результати аналізу наведено на рисунку 4.10.

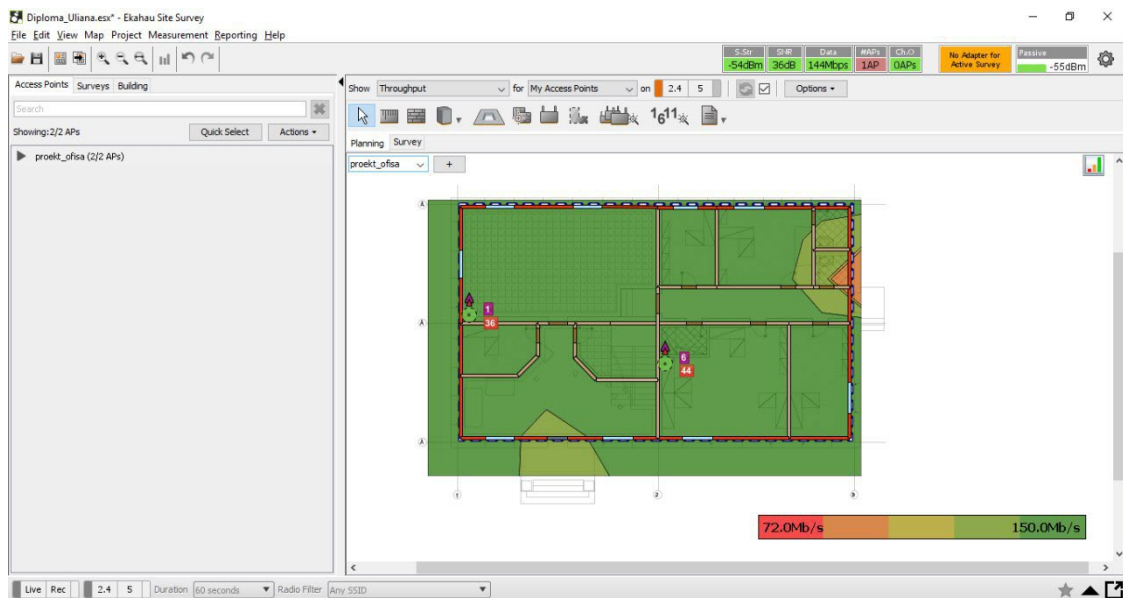


Рисунок 4.10 - Результати аналізу пропускної здатності точок доступу в режимі 802.11n

Як можна бачити з рисунку, на всій площі спостерігається майже однакова швидкість (на рівні 148-150 Мб/с). Області, в яких спостерігалось б падіння швидкості присутні, але в даному випадку вони незначні та потрапляють на край приміщень. Але максимальна швидкість, яка становить 150 Мб/с значно нижча (на 54 Мб/с), ніж в попередніх режимах роботи (в стандарті 802.11ac та змішаному режимі).

Це пояснюється тим, що стандарт 802.11ac загалом має більшу пропускну здатність. А те, що в згаданих режимах отримана картина покриття була нерівномірною з наявністю областей, в яких мав місце спад швидкості пояснюється тим, що обидві точки доступу працюють на однакових частотах та, відповідно, створюють одна одній завади.

#### 4.2.4 Аналіз рівня сигналу двох точок доступу

А зараз виконаємо аналіз рівня сигналу в змішаному режимі (802.11n + 802.11ac), коли обидві точки доступу працюють в частотах 2,4ГГц та 5ГГц одночасно.

Результати аналізу наведено на рисунку 4.11.

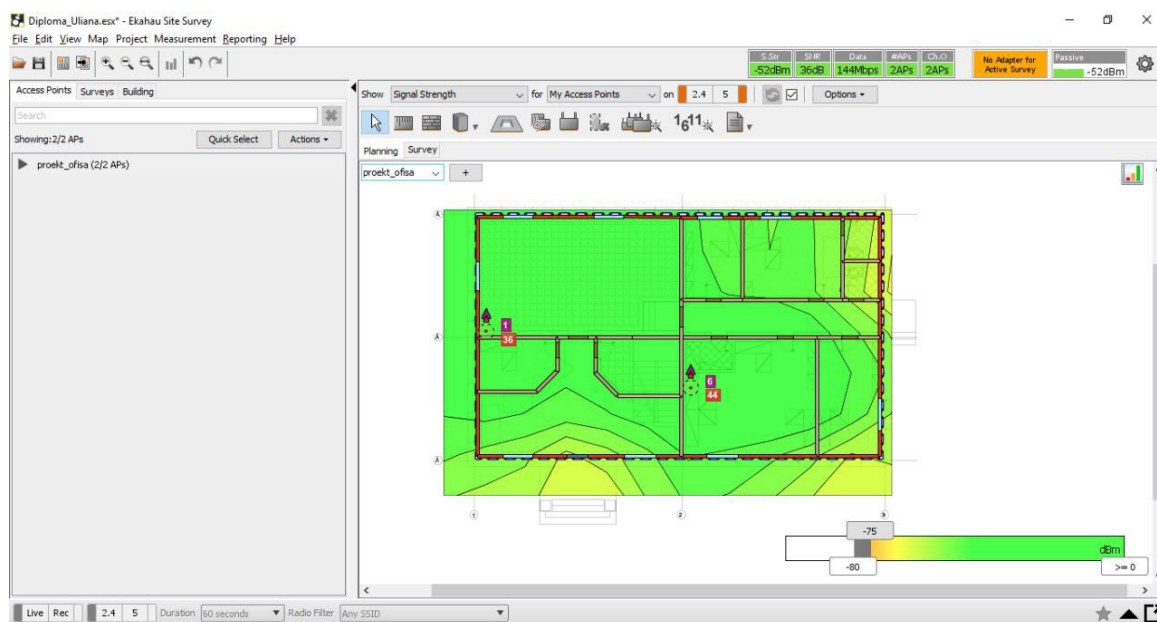


Рисунок 4.11 - Результат аналізу рівня сигналу в змішаному режимі



Бачимо, що рівень сигналу знаходиться на дуже високому рівні на всій площі приміщення.

Тепер виконаємо аналіз рівня сигналу в режимі 802.11ac, коли точки доступу працюють на частоті 5ГГц.

Результати аналізу наведено на рисунку 4.12.

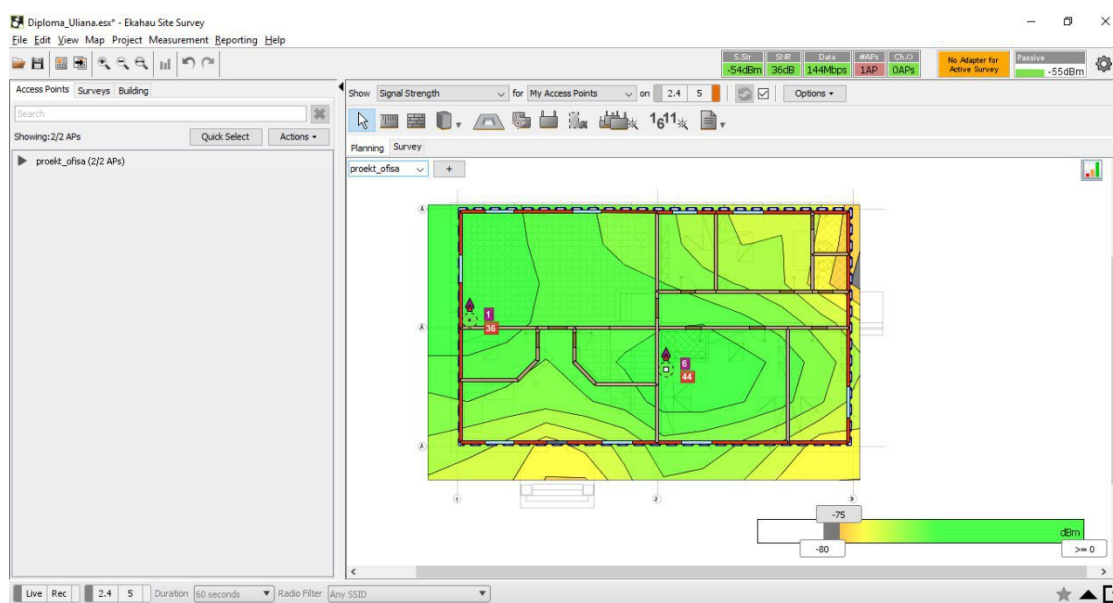


Рисунок 4.12 - Результат аналізу рівня сигналу в режимі 802.11ac

В офісних приміщеннях, які знаходиться по краю плану можна спостерігати незначне послаблення сигналу.

Тепер виконаємо аналіз рівня сигналу в режимі 802.11an, коли точки доступу працюють на частоті 2,4ГГц.

Результати аналізу наведено на рисунку 4.13.

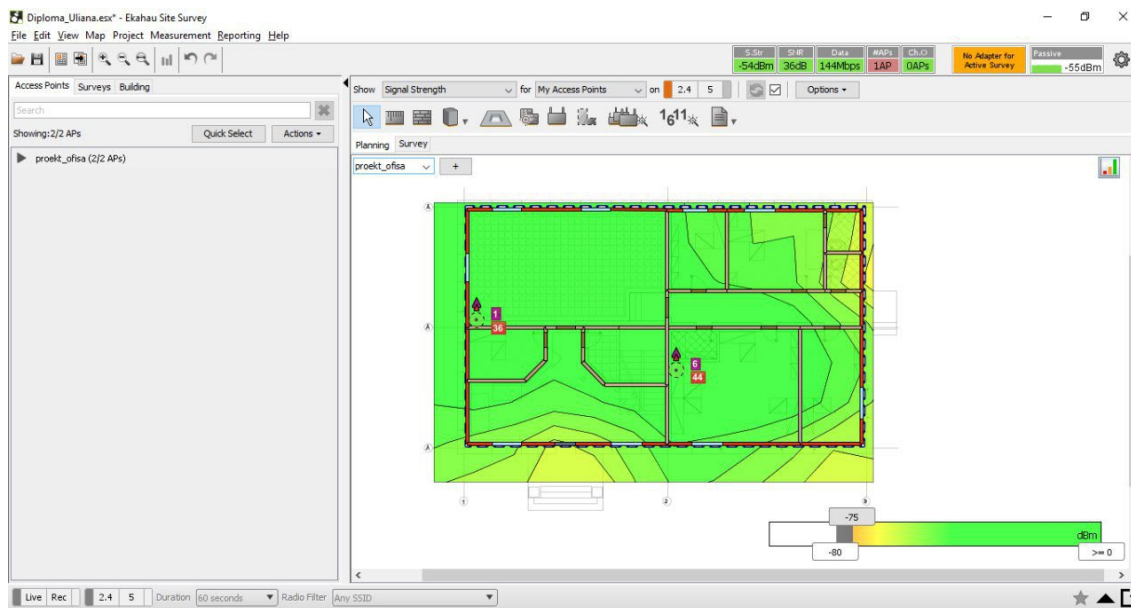


Рисунок 4.13 - Результат аналізу рівня сигналу в режимі 802.11n  
Отримані результати краще, ніж результати аналізу змішаного режиму.

#### 4.2.5 Канальне планування

Для подолання проблеми взаємних завад, які негативно впливають на результати дослідження, виконаємо каналне планування.

Виконаємо аналіз пропускну́ї здатності (швидкості) двох точок доступу в змішаному режимі (802.11n + 802.11ac), коли кожна точка доступу працює в частотах 2,4ГГц та 5ГГц одночасно.

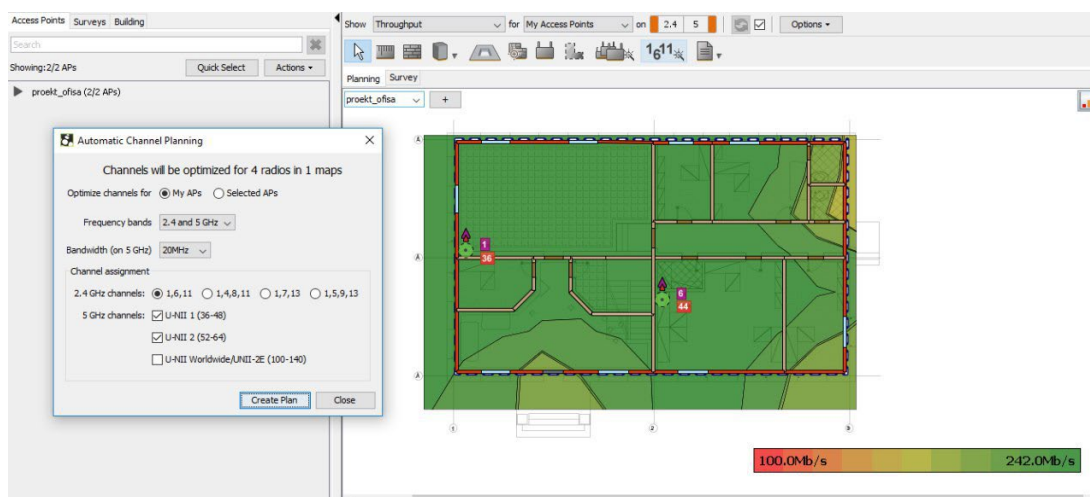


Рисунок 4.14 - Канальне планування двох точок доступу

Результат виконання каналного планування при дослідженні пропускної здатності в режимі 802.11ac наведено на рисунку 4.15.

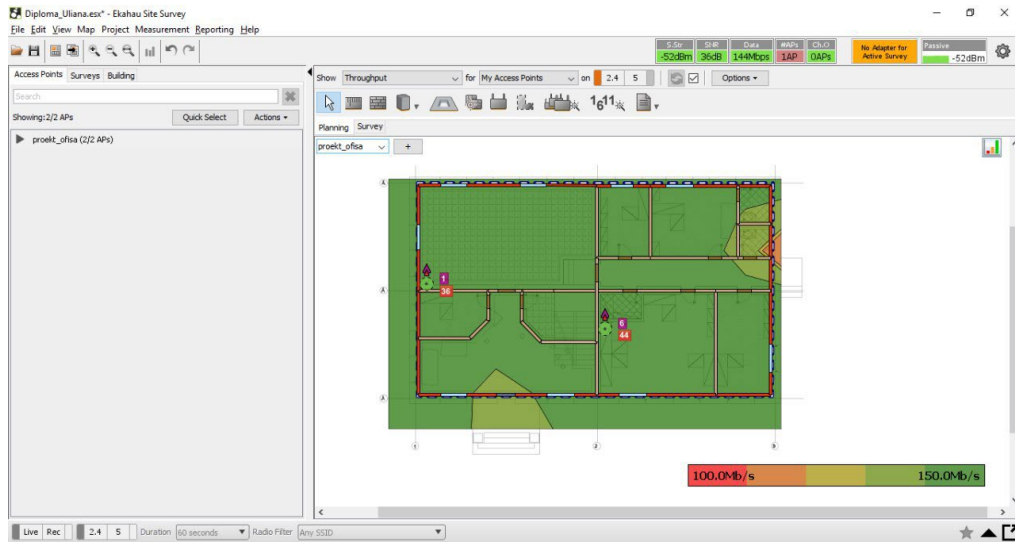


Рисунок 4.15 - результат дослідження пропускної здатності в режимі 802.11ac після виконання каналного планування

Бачимо, що результати майже не відрізняються від результатів при змішаному режимі.

Тепер проаналізуємо пропуску здатність при роботі в частотному діапазоні 2,4ГГц, що відповідає стандарту 802.11n.

Результати аналізу наведено на рисунку 4.16.

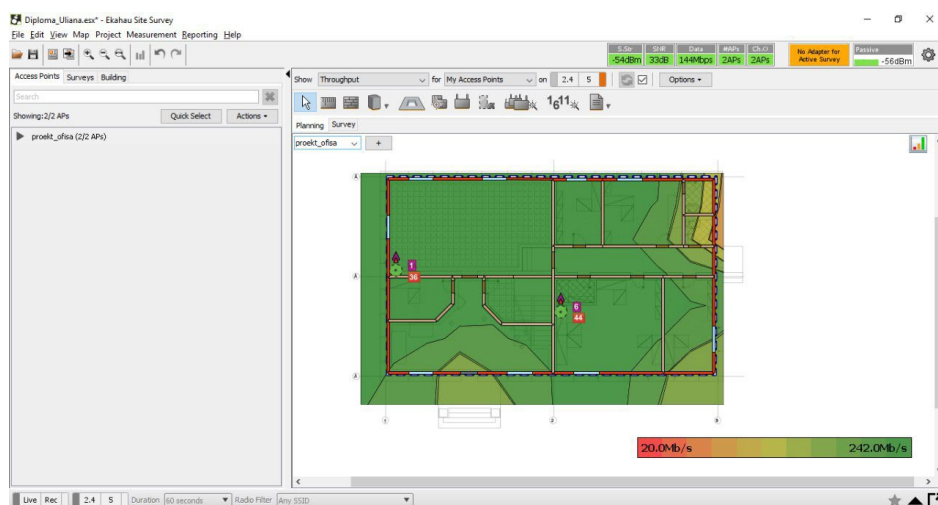


Рисунок 4.16 - результат дослідження пропускної здатності в режимі 802.11n після виконання каналного планування

Бачимо, що майже на всій площі, окрім двох невеликих зон в вестибюлі та туалетах, отримуємо максимальну швидкість (яка становить 148-150 Мб/с).

#### 4.2.6 Аналіз рівня сигналу двох точок доступу з врахуванням каналового планування

А зараз виконаємо аналіз рівня сигналу в змішаному режимі (802.11n + 802.11ac), коли обидві точки доступу працюють в частотах 2,4ГГц та 5ГГц одночасно.

Результати аналізу наведено на рисунку 4.17.

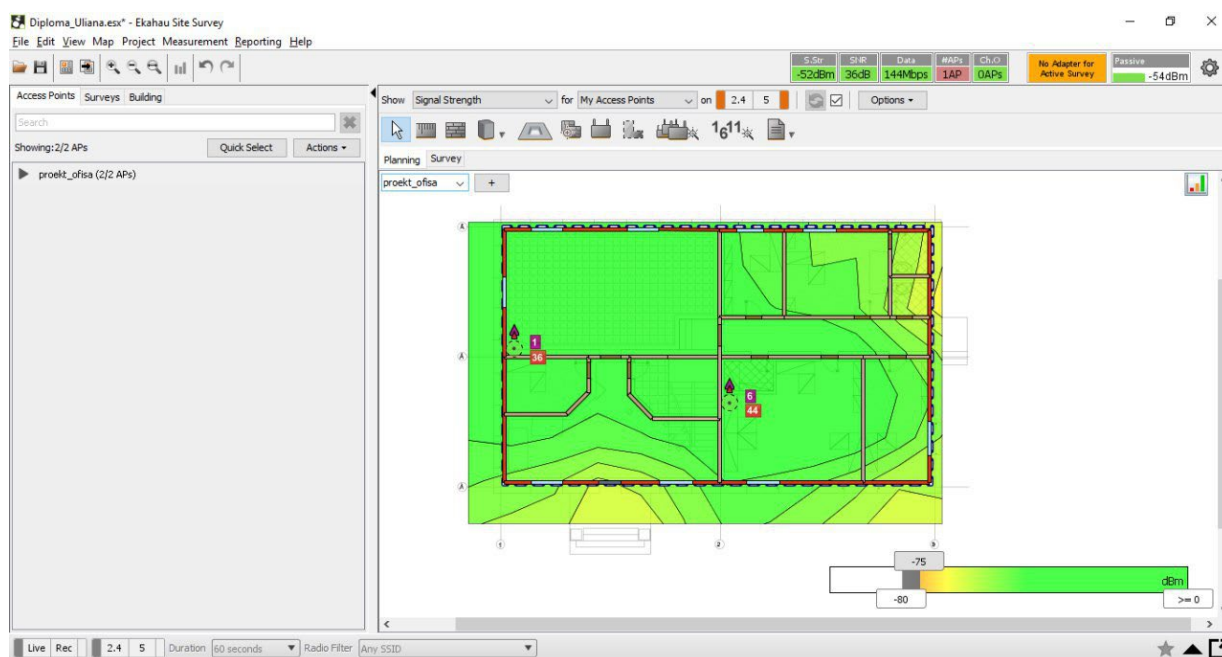


Рисунок 4.17 - Результат аналізу рівня сигналу в змішаному режимі після виконання частотного планування

Бачимо, що рівень сигналу знаходиться на високому рівні майже на всій площі приміщення, як і у випадку без частотного планування.

Тепер виконаємо аналіз рівня сигналу в режимі 802.11ac, коли точки доступу працюють на частоті 5ГГц.

Результати аналізу наведено на рисунку 4.18.

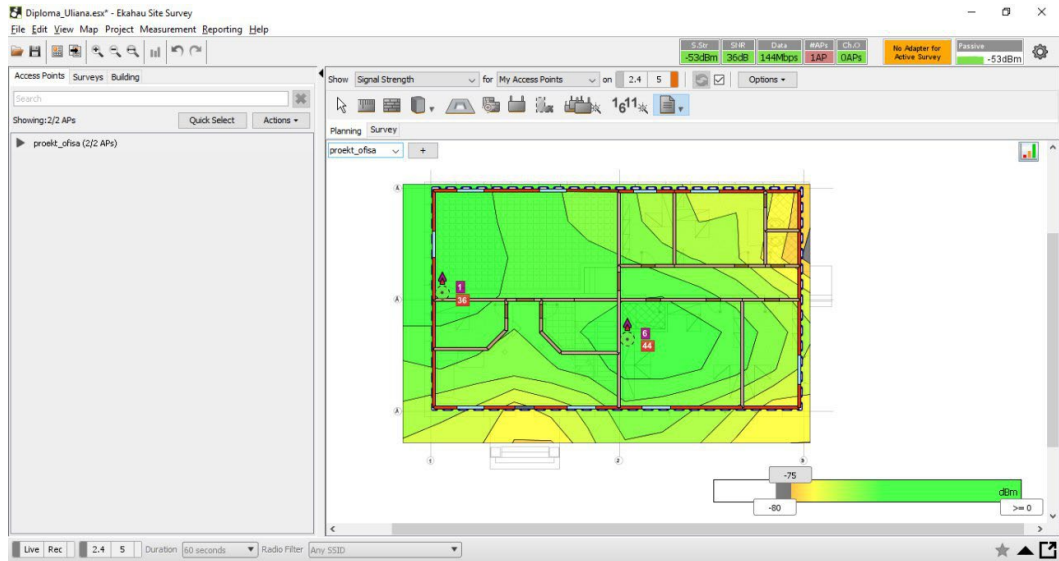


Рисунок 4.18 - Результат аналізу рівня сигналу в режимі 802.11ac після виконання частотного планування

Знову, як і очікувалось, результати такі ж як і без частотного планування.

Тепер виконаємо аналіз рівня сигналу в режимі 802.11n, коли точки доступу працюють на частоті 2,4ГГц.

Результати аналізу представлено на рисунку 4.19.

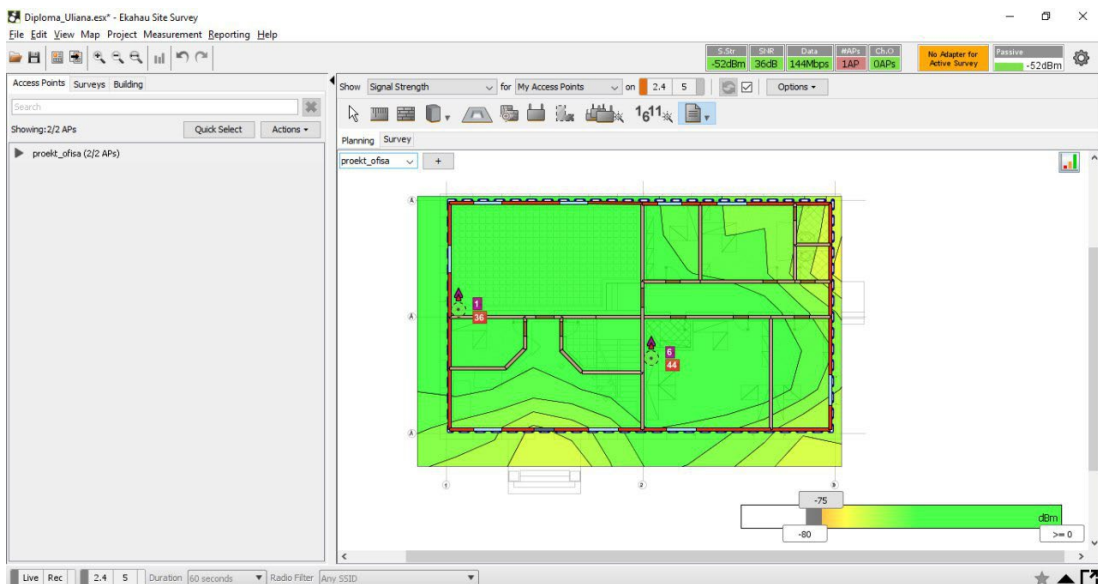


Рисунок 4.20 - Результат аналізу рівня сигналу в режимі 802.11n після виконання частотного планування.

Отримані результати аналогічні результатам аналізу змішаного режиму.

### 4.3 Аналіз результатів моделювання

Підсумовуючи та узагальнюючи отримані результати, можна сказати, що найбільшу швидкість та найкраще покриття отримано при роботі в режимах 802.11ac та змішаному. Але не одразу, а після того, як усунуто проблему із взаємними завадами, які дві встановлених точки доступу створювали одна одній, чим знижували показники, які, як було доведено, можуть бути значно кращими.

#### Висновки до розділу

1. В даному розділі змодельовано покриття мережі Wi-Fi в офісному приміщенні, яке складається з одинадцяти кімнат, з використанням програми «Ekahau Site Survey» версії 8.6.2. Для моделювання використано безпроводову дводіапазонну точку доступу D-Link DAP-3662, бо вона є кращим рішенням для створення зон hot spot.

2. Для отриманої моделі проведено аналіз пропускну здатності та рівня сигналу в різних режимах роботи: в стандарті 802.11n (на частоті 2,4 ГГц), в стандарті 802.11ac (на частоті 5 ГГц) та в змішаному режимі, коли точка доступу одночасно підтримує обидва стандарти 802.11n та 802.11ac (і працює, відповідно, на частотах 2,4 ГГц та 5 ГГц одночасно). Проаналізовано пропускну здатність та рівень сигналу для однієї точки доступу. Отримано таку швидкість:

- для змішаного режиму – 150-20 Мбіт/с;
- для 802.11ac – 242-20 Мбіт/с;
- для 802.11n – 242-20 Мбіт/с.

3. Для комфортного перегляду відео високої чіткості необхідна пропускну здатність має складати приблизно 8 Мбіт/с. Враховуючи втрати, пов'язані з колізіями та низьким рівнем сигналу, швидкості 20 Мбіт/с випадку однієї точки доступу може не вистачити для комфортного перегляду відео, тому встановлено другу точку доступу, які підвищує мінімальну швидкість передавання в мережі:

- для змішаного режиму – 242-72 Мбіт/с;
- для 802.11ac – 242-20 Мбіт/с;
- для 802.11n – 150-72 Мбіт/с.

Для нової схеми з двома точками доступу також проаналізовані пропускна здатність та рівень сигналу в усіх трьох режимах роботи. Аналізуючи отримані результати, виявлено проблему взаємних завад, яка знижувала пропускну здатність.

4. За допомогою канального планування усунено проблему взаємних завад, що підтвердив повторний аналіз роботи двох точок доступу в усіх режимах:

- для змішаного режиму – 242-100 Мбіт/с;
- для 802.11ac – 242-20 Мбіт/с;
- для 802.11n – 150-72 Мбіт/с.

Канальне планування підвищує мінімальну швидкість до 100 Мбіт/с для двох діапазонів частот, що робить можливим комфортний перегляд відеопотоку не лише високої чіткості, а й ультрависокої.

## 5 СТАРТАП-ПРОЕКТ

### 5.1 Загальні відомості

Загальна суть стартапу полягає в такому – при дослідженні ринку відеопослуг запропоновано нову систему для проведення прямих відеотрансляцій. Зміст ідеї та визначення характеристик ідеї стартапу наведено в табл. 5.1 та табл. 5.2.

Таблиця 5.1 – Зміст ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Запропонувати нове готове рішення «під ключ» для моделювання покриття мережі Wi-Fi задля покращення передавання контенту	1. Офіси	Покращення рівня сигналу
	2. Відеоблоги	Можливість мовлення з різних куточків світу та передачі медіаконтенту
	3. Соціальні мережі	Поширення високоякісної відеотрансляції в соціальних мережах заради підвищення рейтингу сторінки

Таблиця 5.2 – Визначення характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів		W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Запропонований метод	Загальноживаний метод			
1.	Пропозиція продажу або оренди професійного обладнання для моделювання мережі Wi-Fi	Дає змогу	Дає змогу	Комплект обладнання є габаритним	Рівень цін продажу та оренди не задовільняє звичайного споживача	Рішення є дешевшим ніж аналоги конкурентів
2.	Покращення швидкості передачі в умові низького рівня радіопокриття	Дає змогу	Не дає змогу	Не гарантується 100% гарантія успіху	Потребує додаткових затрат на периферію	Забезпечується високоякісне передавання відеосигналу



## 5.2 Технологічний аудит ідеї проекту.

У таблиці 5.3 показано оцінку технологічної здійсненності ідеї проекту та наведено технології, що можуть бути використані для реалізації проекту.

Таблиця 5.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Моделювання покриття мережі Wi-Fi задля покращення передавання контенту	Спеціалізоване обладнання	Наявна	Доступна
2		Застосування апаратних систем загального призначення	Необхідно розробити	При обмеженому бюджеті недоступна
3		Розробка власних апаратно-програмних рішень	Необхідно розробити	При обмеженому бюджеті недоступна

Обрана технологія реалізації ідеї проекту: моделювання покриття мережі Wi-Fi задля покращення передавання контенту.

## 5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

У таблиці 5.4 показано попередню характеристику потенційного ринку стартап-проекту.

Таблиця 5.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	8
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	300000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Зацікавлення потенційних клієнтів
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Ліцензування
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	$300000/210000 = 143\%$

У таблиці 5.5 показано характеристику потенційних клієнтів стартап-проекту.

Таблиця 5.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Забезпечення стабільності мережного зв'язку	ЗМІ, медійні компанії	Рівень очікування якості передавання медіаконтенту	Відповідність результату найвищим стандартам якості
2	Забезпечення передавання відеосигналу високої чіткості	ЗМІ, медійні компанії	Кожна з потенційних цільових груп має свої вимоги до стандартів відеозображення	Забезпечення передавання медіаконтенту від рівня потреб споживача

У табл. 5.6 показані фактори загроз реалізації стартап-проекту.

Таблиця 5.6. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Незацікавленість клієнтів	Внаслідок невдалого маркетингу клієнт може не зацікавитись послугами	Внесення додаткових сервісних послуг
2	Втрата конкуренції	Втрата рангу надійного поставника	Якісне та кількісне нарощування інтенсивності та грамотна цінова політика

У табл. 5.7 показано фактори можливостей при реалізації стартап-проекту.

Таблиця 5.7. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Перехід до домінування на ринку медійних послуг	Зростання попиту	Якісне та кількісне нарощування потужностей
2	Імплементация технологій в існуючі системи	Зростання попиту внаслідок зростання об'ємів закупівель	Якісне та кількісне нарощування потужностей

У таблиці 5.8 визначено особливості конкурентного середовища та його вплив на впровадження проекту [30].

Таблиця 5.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1.Конкуренція	Використання вже існуючих технологій	Стандартизація на високому рівні
2.Локальний	Відсутність єдиного національного постачальника послуг	Окремий підхід до кожної локальної ділянки
3.Міжгалузєва	Відсутня	Відсутня
4.Товарно-видова	Застосування стандартизованих технологій	За необхідності, використання загальноновживаних апаратних та програмних засобів
5.Цінова	Застосування спеціалізованих комплексів, які мають значну ціну	Можливість заощадити за допомогою застосування загальноновживаних апаратних засобів
6.Марочна	Кожна діагностика має бути стандартизованою	Отримання переваги на ринку медійних послуг

У таблиці 5.9 показано аналіз конкуренції проекту в галузі за М. Портером

Таблиця 5.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	в галузі	Апаратні постачальники	Необхідність пошуку постачальників	Залучення малопопулярних постачальників	Незалежність у прийнятті клієнтських рішень
Висновки:	Середня	Можливість виходу на ринок є	Постачальники диктують цінову політику на обладнання	Клієнти диктують вимоги до якості	Обмеження існують лише у разі відмови від діагностики

У табл. 5.10 показано фактори конкурентноспроможності та їх обґрунтування.

Таблиця 5.10. Обґрунтування факторів конкурентноспроможності

№ п/п	Фактор конкурентноспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Раціональніший ціновий показник	Можливість більш раціонально використати ресурси на покращення якості дослідження слуху
2	Надання сервісних послуг	Сервісна підтримка апаратної та програмної частини

У табл. 5.11 наведено сильні та слабкі сторони проекту.

Таблиця 5.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ п/п	Фактор конкурентноспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні							
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	
1	Раціональніший ціновий показник	15	+							
2	Надання сервісних послуг	12			+					
3	Періодична діагностика	7					+			
4	Необхідність залучення висококваліфікованих кадрів	7							+	

У табл.5.12 наведено SWOT-аналіз стартап-проекту.

Таблиця 5.12. SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: раціональний ціновий показник, надання сервісних послуг	Слабкі сторони: періодична діагностика, необхідність залучення висококваліфікованих кадрів
Можливості: Перехід до ексклюзивного застосування нового методу, Імплементация методу в існуючі аудіо логічні комплекси	Загрози: Незацікавленість клієнтів, Втрата монополії

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту наведені у табл.5.13.

Таблиця 5.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Укладення договорів з медійними компаніями та швидке захоплення ринку при використанні нового рішення	висока	незначні
2	Використання приладів загального вжитку для підвищення конкурентноспроможності	середня	незначні

Обрана альтернатива - укладення договорів з медійними компаніями та швидке захоплення ринку при використанні нового рішення

#### 5.4. Розроблення ринкової стратегії проекту

Обґрунтування вибору цільових груп потенційних споживачів наведено у табл. 5.14 [31].

Таблиця 5.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Медійні компанії надання якісних послуг	Середня	Високий	Середня	Середня
2	Індивідуальні відеоблогери	Низька	Середній	Середня	Висока

Визначення базової стратегії розвитку наведено у табл. 5.15.

Таблиця 5.15. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	Використання альтернативних технологій та пристроїв	Встановлення нового стандарту якості	Зацікавлення та залучення гігантів у галузі телебачення	Стратегія диференціації
2	Дешевизна проекту	Раціональніші витрати на обладнання, та послуги	Застосування загальноживаних апаратних рішень замість спеціалізованих комплексів	Стратегія лідерства по витратах

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки наведено у табл. 5.16.

Таблиця 5.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	Так	Забирати існуючих та шукати нових	Не буде	Стратегія виклику лідера

Визначення стратегії позиціонування наведено у табл. 5.17.

Таблиця 5.17. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Висока якість послуг	Стратегія диференціації	Новизна, гарант якості, точність дослідження	Якість, надійність, точність
2	Мінімальні витрати	Стратегія лідерства по витратах	Універсальність запропонованого рішення	Дешевизна, універсальність

## 5.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Ключові переваги концепції потенційного товару наведено у табл. 5.18.

Таблиця 5.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Якість	Висока якість, надійність	Надійність
2	Дешевизна	Раціональне використання коштів, дешевше обладнання	Дешевизна

Визначено три рівні моделі товару. Сутність та складові рівнів товару наведено у табл. 5.19.

Таблиця 5.19. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Якісний товар та послуги, стандартизована якість послуг та обладнання		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Гл/Е/Ор
	1)Вартість обслуговування, 2)Кількість комплектів обладнання 3)Строк безвідмовної праці 4)Технологічна собівартість товару	1) М 2) М 3) М 4) М	1)Е 2) Пр 3)Нд 4)Тх
	Якість: міжнародні стандарти якості, постійна підтримка обладнання		
	Доставка, встановлення та налаштування		
	Марка: передавання медіаконтенту		
III. Товар із підкріпленням	До продажу – обладнання, встановлення		
	Після продажу – сервісна підтримка		

За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: специфічна методика обробки даних.

Визначення меж встановлення ціни на послугу наведено у табл. 5.20.

Таблиця 5.20. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	10000 у.о./од. (стандартна методика)	-	Високий	Н.5000 у.о. – В.11000 у.о. (Товар) Н.300 у.о. – В.1000 у.о. (Послуга)

Формування системи збуту послуги наведено у табл. 5.21.

Таблиця 5.21. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Орієнтована на отримання максимальної швидкості передавання	Поставки якісного, точного та надійного товару	Значна	Договірна система збуту

Концепції маркетингових комунікацій наведено у табл. 5.22.

Таблиця 5.22. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Зацікавленість в якісному та точному продукті з раціональним використанням ресурсів	Мережні ресурси	Гарантованість якості та стандартизація, політика сервісності	Зацікавити у покращеннях пов'язаних із зростаючою популярністю послуг	Представлення центру синхронізації відправною точкою на шляху до над якісного контенту
2	Зацікавленість у великій кількості продукту із дотриманням умов якості	Мережні ресурси	Глибина каналу постачальників, гарант якості	Зацікавити у позитивних сторонах первісності та в глибині каналу постачання	Представлення послуг центру синхронізації єдиним раціональним шляхом у забезпеченні трафіку.



## Висновки до розділу

Комерціалізацію стартап-проекту щодо розвитку та впровадження запропонованого апаратно-програмного рішення для проведення прямих відеотрансляцій детального аналізу, можна вважати доцільною. На дану пропозицію на ринку медійних послуг присутній попит, наразі він задовольняється товарами замінниками та більш дорогими рішеннями, саме тому важливо зайняти нішу конкурента у якості поставника вигідного продукту, порівнюючи з конкурентами. Рентабельність на ринку послуг насамперед обумовлена заміною повної апаратної залежності на універсальність, що обумовлена використанням не спеціалізованих комплексів, а загальноживаного програмного та апаратного забезпечення.

Впровадження є перспективним, адже основними групами клієнтів є масштабні телевізійні компанії, інтернет-компанії та індивідуальні відеоблогери, і після набуття достатньої авторитетності можливе охоплення у масштабах міжнародних ринків. Конкурентноспроможність проекту обумовлена меншою ціною на повний продукт та високою якістю проведення трансляції в умовах, коли конкуренти за цим параметром у даних умовах програють. Це вигідно вирізняє запропоноване рішення, власне, і є основним критерієм входження на ринок.

Обраною альтернативою впровадження було обрано – пошук альтернативних технологій та пристроїв для побудови систем передавання відео. Імплементация проекту доцільна, оскільки рентабельність та зацікавленість потенційних груп клієнтів створює досить сприятливі умови для розвитку проекту.

## ВИСНОВКИ

Під час виконання дипломної роботи досліджено особливості вдосконалення передавання медіаконтенту через Wi-Fi мережу на основі стандартів IEEE 802.11ac та 802.11n та принципи організації безпроводових локальних мереж на їх основі.

1. В першому розділі детально досліджено особливості фізичного та каналного рівнів сімейства безпроводових локальних мереж IEEE 802.11. Визначено переваги та недоліки найпопулярніших стандартів 802.11. Встановлено, що подолати недоліки здатен стандарт 802.11ac.

2. В другому розділі проаналізовано використання мереж Wi-Fi для передавання відео і визначено, що є певні складнощі в порівнянні з проводовими мережами. Ці проблеми виникають, оскільки для мережі Wi-Fi характерний ряд робочих характеристик, зокрема, змінна швидкість передавання даних, втрата пакетів, які перешкоджають використанню традиційних підходів для отримання гарантованої якості обслуговування. Інша істотна відмінність між мережею Wi-Fi і проводовою локальною мережею – відносна ненадійність транспорту на другому базовому рівні. Простіше кажучи, в мережі Wi-Fi втрачається значно більше пакетів, ніж у проводовій мережі. Причинами втрати пакетів є колізії, схильність у мережі Wi-Fi до короткочасної відсутності сигналу (загасання) та здійснюваний системами Wi-Fi пошук найвищої швидкості передавання даних шляхом спроб передавання на різних швидкостях.

3. Один зі способів збільшення швидкості безпроводової передавання даних використовує кілька антен для передавача і приймача. Технологія називається MIMO (multiple input multiple output). У разі її використання паралельно передається безліч сигналів, збільшуючи тим самим сумарну пропускну здатність.

4. В третьому розділі досліджено особливості радіоінтерфейсу та еволюцію стандарту 802.11ac. Визначено основні відмінності та нововведення в організації стандарту в порівнянні з 802.11n. В сукупності всі нововведення дозво-

ляють отримати пропускну здатність в 3500 Мбіт/с, що 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

5. В четвертому розділі змодельовано покриття в офісному приміщенні, яке складається з одинадцяти кімнат, з використанням програми «Ekahau Site Survey» версії 8.6.2. Для моделювання використано безпроводову дводіапазонну точку доступу D-Link DAP-3662. Для отриманої моделі проведено аналіз пропускну здатності та рівня сигналу в різних режимах роботи: в стандарті 802.11n (на частоті 2,4 ГГц), в стандарті 802.11ac (на частоті 5 ГГц) та в змішаному режимі, коли точка доступу одночасно підтримує обидва стандарти 802.11n та 802.11ac. Проаналізовано пропускну здатність та рівень сигналу для однієї точки доступу. Отримано таку швидкість:

- для змішаного режиму – 150-20 Мбіт/с;
- для 802.11ac – 242-20 Мбіт/с;
- для 802.11n – 242-20 Мбіт/с.

6. Для комфортного перегляду відео високої чіткості необхідна пропускну здатність має складати приблизно 8 Мбіт/с. Враховуючи втрати, пов'язані з колізіями та низьким рівнем сигналу, швидкості 20 Мбіт/с випадку однієї точки доступу може не вистачити для комфортного перегляду відео, тому встановлено другу точку доступу, які підвищує мінімальну швидкість передавання в мережі:

- для змішаного режиму – 242-72 Мбіт/с;
- для 802.11ac – 242-20 Мбіт/с;
- для 802.11n – 150-72 Мбіт/с.

7. За допомогою канального планування усунуто проблему взаємних завад, що підтвердив повторний аналіз роботи двох точок доступу в усіх режимах:

- для змішаного режиму – 242-100 Мбіт/с;

- для 802.11ac – 242-20 Мбіт/с;
- для 802.11n – 150-72 Мбіт/с.

Канальне планування підвищує мінімальну швидкість до 100 Мбіт/с для двох діапазонів частот, що робить можливим комфортний перегляд відеопотоку не лише високої чіткості, а й ультрависокої.

**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. ДСТУ 3008-95. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. – К.: Видавництво стандартів, 1995. – 37 с.
2. IEEE 802.11. URL: [http://ru.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11](http://ru.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11)
3. IEEE 802.11ac. URL: [http://ru.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11ac](http://ru.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11ac)
4. Introduction to 802.11ac WLAN Technology and Testing, Agilent Technologies, 2011 – 47 с.
5. 802.11ac: The Fifth Generation of Wi-Fi Technical White Paper. URL: [http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/wireless/ps5678/ps11983/white\\_paper\\_11-713103.html#wp9000315](http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/wireless/ps5678/ps11983/white_paper_11-713103.html#wp9000315)
6. Языки программирования. Стандарты технологии 802.11. URL :[http://life-prog.ru/ukr/1\\_612\\_standarti-tehnologii-Wi-Fi.html](http://life-prog.ru/ukr/1_612_standarti-tehnologii-Wi-Fi.html)
7. D-link dap-3662 опис та можливості. URL: <http://www.dlink.ru/ru/products/2/2027.html>
8. Супербыстрая беспроводная сеть //СНІР Україна. –2012.– №11. С 60-67.
9. Переваги нового стандарту 802.11ax і порівняння з сімейством 802.11ю URL: <http://www.wi-life.ru/stati/wi-fi/marketingovye-stati-2/benefits-of-new-80211ax-standart-and-comparison-chart>
10. Сравнительный анализ 802.11ax с 802.11. URL: <https://nettech.ua/news/preimutshestva-noveyshego-standarta-802-11ax-i-sravnitelniy-analiz-s-802-11>
11. Новый стандарт 802.11ax: увеличение производительности WI-FI в 4 раза. URL: <https://lanmarket.ua/stats/novyyu-standart-802-11ax-uvelichenie-proizvoditelnosti-wi-fi-v-4-raza>
12. Корпоративна мережа. Матеріал з Вікіпедії. URL: [http://uk.wikipedia.org/wiki/Корпоративна\\_мережа](http://uk.wikipedia.org/wiki/Корпоративна_мережа)
13. Тест 5 роутеров. URL: [http://www.thg.ru/network/test\\_5\\_routerov\\_standarta\\_802\\_11ac/test\\_5\\_routerov\\_standarta\\_802\\_11ac-04.html](http://www.thg.ru/network/test_5_routerov_standarta_802_11ac/test_5_routerov_standarta_802_11ac-04.html)

14. Климаш М.М. Технології мереж мобільного зв'язку / М.М. Климаш, В.О. Пелішок, П.М. Михайленич. – К: Освіта України, 2010. – 624 с.
15. Wi-Fi. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>
16. В.М. Винокуров. Маршрутизация в беспроводных мобильных Ad hoc-сетях/ В.М. Винокуров, А.В. Пуговкин, А.А. Пшенников, Д.Н. Ушарова, А.С. Филатов // Доклады ТУСУРа, № 2 (22), часть 1, декабрь 2010, – С.288-292.
17. Методы оптимизации приема/передачи в сетях Wi-Fi. URL: [https://habrahabr.ru/company/cbs/blog/281485/\(16.03.2017\)](https://habrahabr.ru/company/cbs/blog/281485/(16.03.2017)).
18. Увеличение пропускной способности сетей 802.11n за счёт усовершенствования протокола MAC. URL: [http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/2187/doc/53416/\(14.03.2017\)](http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/2187/doc/53416/(14.03.2017)).
19. Варианты построения сети хотспота. URL: <http://wifihotspot.zp.ua/hotspot-description/1-articles/47-networks>.
20. Розробка та проектування бездротової комп'ютерної мережі класу. URL: <https://ukrbukva.net/page,3,83474-Razrabotka-i-proektirovanie-besprovodnoiy-komp-yuternoiy-seti-klassa.html>
21. Бездротові локальні мережі Wlan (wi-fi). URL: <https://ukrbukva.net/page,2,8628-Besprovodnye-lokal-nye-seti-Wlan-wi-fi.html>

Додаток А

**РЕФЕРАТ**  
**АНГЛІЙСЬКОЮ МОВОЮ ЗА ТЕМОЮ ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ**

## ABSTRACT

Wi-Fi has become such an amazingly successful technology because it has continuously advanced while remaining backwards compatible. Every few years since the 802.11b amendment was ratified, the industry has released successive amendments increasing Wi-Fi data rates and capabilities, but even the latest Wi-Fi systems are able to interoperate with 1999 equipment built to the original standard. This paper explains the latest advance in Wi-Fi, 802.11ac, which provides the next step forward in performance.

The current state-of-the-art Wi-Fi is known as Wi-Fi CERTIFIED n or 802.11n. In the four years since the Wi-Fi Alliance introduced its initial certification, this technology has become hugely popular. According to IHS iSuppli, 802.11n now accounts for over two-thirds of Wi-Fi chipset shipments, and is on track to take over completely from 802.11a/b/g in mainstream applications before the end of 2012.

802.11n has become popular because it improves performance. The five-fold increase in bandwidth, along with improved reliability from multi-antenna MIMO techniques, has delivered a better user experience. In fact, a 2007 Burton Group report entitled “The end of Ethernet” accurately predicted a future where Wi-Fi will take over from wired Ethernet as the primary edge connection for corporate networks.

802.11ac is the name of a proposed amendment to the IEEE 802.11 specification for Wireless Local Area Networks (WLANs). IEEE task group TGac was started in November 2008 to consider technical proposals and to draft a text proposal for the amendment. This work is currently still in draft stage, with final approval targeted for December 2013. Once approved, it will become an official 802.11 amendment under the name 802.11ac. Even though the work has not been officially approved yet, we will refer to it as 802.11ac in this document.

The main goal of the new 802.11ac amendment was to significantly increase the throughput within the Basic Service Set (BSS). The official target rates, as defined at the start



of the project, are a maximum Multi-Station (MultiSTA) throughput of at least 1 Gbps and a maximum single link throughput of at least 500 Mbps. These higher rates are motivated-

ed by the continuing trend to transition devices and applications from fixed links to wireless links and by the emergence of new applications with ever higher throughput requirements.

Existing 802.11 technologies operate in the 2.4 GHz band (802.11b, 802.11g), the 5 GHz band (802.11a), or both (802.11n). 802.11ac operates strictly in the 5GHz band, but supports backwards compatibility with other 802.11 technologies operating in the same band (most notably 802.11n).

To achieve its goals, 802.11ac relies on a number of improvements in both the MAC and Physical Layer (PHY).

The PHY improvements include:

- Increased bandwidth per channel ;
- Increased number of spatial streams;
- Higherorder modulation 256 Quadrature Amplitude Modulation (QAM);
- Multi-User Multiple Input Multiple Output (MU-MIMO).

In addition to these new PHY features, 802.11ac also supports a number of advanced digital communication concepts that were first introduced in 802.11n, such as space division multiplexing, LowDensity Parity Check (LDPC) coding, shortened guard interval-

val (short GI), SpaceTime Block Coding (STBC), and explicitfeedback transmit beamforming (Tx BF).The Media Access Control (MAC) layer includes many of the improvements that were first introduced with 802.11n. One notable enhancement is the larger maximum-

size of aggregate MAC Protocol Data Units (MPDUs). Also, the Request to Send /Clear to Send (RTS/CTS) mechanism has been enhanced to allow more efficient implementation of dynamic bandwidth operation.

802.11ac, the emerging standard from the IEEE, is like the movie *The Godfather Part II*. It takes something great and makes it even better. 802.11ac is a faster and more scalable version of 802.11n. It couples the freedom of wireless with the capabilities of Gigabit Ethernet. Wireless LAN sites will see significant improvements in the number of clients supported by an access point (AP), a better experience for each client, and more available bandwidth for a higher number of parallel video streams. Even when the network is not fully loaded, users see a benefit: their file downloads and email sync happen at low-lag gigabit speeds. Also, device battery life is extended, since the device's Wi-Fi interface can wake up, exchange data with its AP, and then revert to dozing that much more quickly. 802.11ac achieves its raw speed increase by pushing on three different dimensions:

- More channel bonding, increased from a maximum of 40 MHz with 802.11n up to 80 or even 160 MHz (for speed increases of 117 or 333 percent, respectively).
- Denser modulation, now using 256 quadrature amplitude modulation (QAM), up from 64QAM in 802.11n (for a 33 percent speed burst at shorter, yet still usable, ranges).
- More multiple input, multiple output (MIMO). Whereas 802.11n stopped at four spatial streams, 802.11ac goes all the way to eight (for another 100 percent speed increase).

The design constraints and economics that kept 802.11n products at one, two, or three spatial streams haven't changed much for 802.11ac, so we can expect the same kind of product availability, with first-wave 802.11ac products built around 80 MHz and delivering up to 433 Mbps (low end), 867 Mbps (mid-tier), or 1300 Mbps (high end) at the physical layer. Second-wave products may promise still more channel bonding and spatial streams, with plausible product configurations operating at up to 3.47 Gbps.

802.11ac is a 5-GHz-only technology, so dual-band APs and clients will continue to use 802.11n at 2.4 GHz. However, 802.11ac clients operate in the less crowded 5-GHz band.

Second-wave products could also come with a new technology, multiuser MIMO (MU-MIMO). Whereas 802.11n is like an Ethernet hub that can transfer only a single frame at a time to all its ports, MU-MIMO allows an AP to send multiple frames to multiple clients at the same time over the same frequency spectrum. That's right: with multiple antennas and smarts, an AP can behave like a wireless switch. There are technical constraints, and so MU-MIMO is particularly well suited to bring-your-own-device (BYOD) situations in which devices such as smartphones and tablets have only a single antenna.

802.11ac-enabled products are the culmination of efforts at the IEEE and Wi-Fi Alliance pipelines. IEEE 802.11ac delivered an approved Draft 2.0 amendment in January 2012 and a refined Draft 3.0 in May 2012, with final ratification occurring at the end of 2013. In parallel, the Wi-Fi Alliance adopted an early but very stable and mature IEEE draft, namely Draft 3.0, and used that as the baseline for an interoperability certification of first-wave products in mid-2013. Later, and more in line with the ratification date of 802.11ac (that is, after December 2013), the Wi-Fi Alliance is expected to refresh its 802.11ac certification to include testing of the more advanced 802.11ac features. This second-wave certification could include features such as channel bonding up to 160 MHz, four spatial streams, and MU-MIMO. Overall, this arrangement closely follows how 802.11n was rolled out. As of February 2014, the launch date for Wave 2 certification is yet to be determined.

Enterprise networks considering an investment in infrastructure Wi-Fi have two excellent choices: (1) buy 802.11n APs, since they deliver a remarkable level of performance, they are available today, and 802.11n is widely deployed in client products, or (2) wait for 802.11ac APs and their state-of-the-art performance. A third option avoids the wait: invest in a modular 802.11n AP such as the Cisco® Aironet® 3600 Series Access Point, which is readily field-upgradable to 802.11ac, or the Cisco Aironet 3700 Series Access Point, which supports an integrated 802.11ac radio.

802.11ac will have a few effects on existing 802.11a/n deployments, even if the deployment is not upgraded to 802.11ac immediately: (1) the wider channel bandwidths of neighboring APs require updates to radio resource management, or RRM

(and in particular the dynamic channel assignment algorithm), and (2) 802.11a/n wireless intrusion protection systems (WIPS) can continue to decode most management frames such as beacon and probe request/response frames (that are invariably sent in 802.11a format) but do not have visibility into data sent in the new 802.11ac packet format.

One thing not to worry about is compatibility. 802.11ac is designed in a deep way to coexist efficiently with existing 802.11a/n devices, with strong carrier sense, a single new preamble that appears to be a valid 802.11a preamble to 802.11a/n devices, and extensions to request-to-send/clear-to-send (RTS/CTS) to help avoid collisions with users operating on slightly different channels.