ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
Кафедра Мобільних та відеоінформаційних технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Методи самоорганізації в безпроводових мережах з метою підвищення пропускної здатності»

на здобуття освітнього ступеня магістра
зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка
освітньо-професійної програми Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

(підпис) Роман КРИВОРУЧКО (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи АРДМ-62
Роман КРИВОРУЧКО

Керівник: Віталій СТРЕЛЬНІКОВ

Рецензент: Ганна Гринкевич

Київ – 2023

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Навчально-науковий інститут телекомунікацій

Кафедра	Мобільних та відеоінформаційних технологій
Ступінь вищої освіти	Магістр
Спеціальність	172 Телекомунікації та радіотехніка
Освітньо-професійна програма	Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувачка кафедрою МВТ
_____ Наталія РУДЕНКО
« » _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Криворучку Роману Сергійовичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Методи самоорганізації в безпроводових мережах з метою підвищення пропускної здатності»,
керівник кваліфікаційної роботи Віталій СТРЕЛЬНІКОВ, PhD,
затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від 19.10.2023 р. №145.

2. Строк подання кваліфікаційної роботи 25.12.2023 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:
   1. Способи підвищення продуктивності безпроводової мережі.
   2. Методи розподілу каналів.
   3. Імітаційна модель багатоканальних mesh-мереж.
   4. Науково-технічна література.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
   1. Аналіз шляхів підвищення продуктивності mesh-мереж.
   2. Математична модель розподілу каналів у багатоканальних mesh-мережах стандарту 802.11.
   3. Ієрархічно-координаційного розподіл каналів у багатоканальних mesh-мережах стандарту 802.11.
   4. Дослідження моделей розподілу каналів у багатоканальних mesh-мережах.

5. Перелік ілюстративного матеріалу: презентація.

6. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підбір науково-технічної літератури	19.10.23	Викон.
2.	Аналіз шляхів підвищення продуктивності mesh-мереж	31.10.23	Викон.
3.	Математична модель розподілу каналів у багатоканальних mesh-мережах стандарту 802.11	15.11.23	Викон.
4.	Ієрархічно-координаційного розподіл каналів у багатоканальних mesh-мережах стандарту 802.11	29.11.23	Викон.
5.	Дослідження моделей розподілу каналів у багатоканальних mesh-мережах	06.12.23	Викон.
6.	Висновки, вступ, реферат	11.12.23	Викон.
7.	Розробка презентації	18.12.23	Викон.

Здобувач вищої освіти _____ Роман КРИВОРУЧКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Віталій СТРЕЛЬНІКОВ
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістра: 85 стор., 38 рис., 11 табл., 40 дж.

Мета роботи – полягає в удосконаленні безпроводової телекомунікаційної архітектури стандарту 802.11.

Об'єкт дослідження - процес функціонування мережах стандарту 802.11.

Предмет дослідження – методи самоорганізації в безпроводових мережах з метою підвищення пропускної здатності.

Короткий зміст роботи: Проведено огляд існуючих і перспективних технологій безпроводового зв'язку, які використовуються в mesh-мережах; аналіз способів підвищення продуктивності mesh-мереж; аналіз існуючих методів розподілу каналів у багатоканальних mesh-мережах і формулювання вимог, що пред'являються до перспективних рішень в цій галузі. На основі аналізу науково-технічної літератури розроблено математичні моделі розподілу каналів у багатоканальних mesh-мережах, спрямовані на підвищення продуктивності безпроводових мереж. Виконано розрахунки адекватності розроблених математичних моделей і шляхом порівняння результатів аналітичного та імітаційного моделювання.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: MESH-МЕРЕЖА, СИСТЕМА БЕЗПРОВОДОВОГО ЗВ'ЯЗКУ, МЕТОДИ РОЗПОДІЛУ КАНАЛІВ, КОДОВІ ПОСЛІДОВНОСТІ, ФІЗИЧНІ КАНАЛИ, МЕРЕЖА ДОСТУПУ, ПРОПУСКНА ЗДАТНІСТЬ, ЧАС ЗАТРИМКИ, ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ

ABSTRACT

Text part of the master's qualification work: 85 pages, 38 pictures, 11 table, 40 sources.

The purpose of the work - consists in improving the wireless telecommunication architecture of the 802.11 standard.

Object of research – the process of functioning of networks of the 802.11 standard.

Subject of research – methods of organizing telecommunication networks to increase their efficiency.

Summary of the work: An overview of existing and promising wireless communication technologies used in mesh networks was conducted; analysis of ways to increase the performance of mesh networks; analysis of existing channel distribution methods in multi-channel mesh networks and formulation of requirements for promising solutions in this field. Based on the analysis of scientific and technical literature, mathematical models of channel distribution in multi-channel mesh networks aimed at increasing the productivity of wireless networks have been developed. Calculations of the adequacy of the developed mathematical models were also performed by comparing the results of analytical and simulation modeling.

KEYWORDS: MESH NETWORK, WIRELESS COMMUNICATION SYSTEM, CHANNEL ALLOCATION METHODS, CODE SEQUENCES, PHYSICAL CHANNELS, ACCESS NETWORK, BAND CAPACITY, DELAY TIME, TECHNICAL TOOLS

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Навчально-науковий інститут телекомунікацій

ПОДАННЯ
ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ
ЩОДО ЗАХИСТУ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
на здобуття освітнього ступеня магістра

Направляється здобувач Криворучко Р.С. до захисту кваліфікаційної роботи
(прізвище та ініціали)

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка
освітньо-професійної програми Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

на тему: Методи самоорганізації в безпроводових мережах з метою підвищення пропускної здатності

Кваліфікаційна робота і рецензія додаються.

Директор ННІТ _____ Владислав КРАВЧЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Висновок керівника кваліфікаційної роботи

Здобувач Криворучко Роман Сергійович показав гарну теоретичну та інженерну підготовку, уміння володіти технологіями нового покоління, вміло працювати з програмно-апаратними засобами мобільного зв'язку, довідковою і науково-технічною літературою. Працюючи над завданнями, які доручались керівником, проявив ініціативність, сумлінність та хист до інженерної роботи.

Все це дозволяє оцінити виконану кваліфікаційну роботу Криворучка Романа Сергійовича на оцінку «відмінно» та присвоїти йому кваліфікацію «Магістр з телекомунікацій та радіотехніки».

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Віталій СТРЕЛЬНІКОВ
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

" " _____ 2023 року

Висновок кафедри про кваліфікаційну роботу

Кваліфікаційна робота розглянута. Здобувач Криворучко Р.С.
(прізвище та ініціали)

допускається до захисту даної роботи в Екзаменаційній комісії.

Завідувачка кафедри
Мобільних та відеоінформаційних технологій _____ Наталія РУДЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

" " _____ 2023 року

ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА

на кваліфікаційну магістерську роботу

здобувача вищої освіти Криворучка Романа Сергійовича

на тему: «Методи самоорганізації в безпроводових мережах з метою підвищення пропускної здатності»

Актуальність:

Робота присвячена дослідженню методів розподілу каналів в mesh-мережах та удосконаленні їх архітектури для підвищення пропускної здатності систем стандарту IEEE802.11.

Магістерська робота безпосередньо пов'язана з реалізацією основних положень "Концепції конвергенції телефонних мереж і мереж з пакетною комутацією в Україні" та "Основних способів розвитку інформаційного суспільства в Україні". Значимість результатів роботи полягає в подальшому розвитку моделей і методів розподілу каналів у багатоканальних mesh-мережах.

Позитивні сторони:

1. Зміст магістерської роботи відповідає завданню. Її автор, показав високий рівень знань і ступінь підготовленості до майбутньої роботи за фахом.
2. Використання запропонованих математичних моделей і ієрархічно-координаційного методу дозволяє системно та злагоджено підійти до вирішення задачі розподілу каналів у багатоканальних mesh-мережах стандарту 802.11.
3. Текст викладений грамотно, ясно, послідовно. Графічний матеріал оформлений якісно. Широко використовується сучасна науково-технічна література, включаючи англомовні видання.

Недоліки:

1. На ряду з представленими в роботі алгоритмами для розрахунків не використано Алгоритм адаптації канальної швидкості.
2. В роботі варто більш детально описати процес роботи з програмою Network Simulator.

Висновок: кваліфікаційна робота заслуговує оцінку «відмінно», а здобувач Криворучко Роман Сергійович заслуговує присвоєння кваліфікації: «Магістр з телекомунікацій та радіотехніки».

Рецензент: к.т.н., доцент _____ Г. Гранковська

(науковий ступінь, вчене звання) *(підпис)* *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ 9
ВСТУП 11
1 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ СТАНДАРТУ IEEE 802.11 ЯК ЗАСОБУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОСТУПУ ДО ІНФОРМАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ 13
1.1 Особливості стандарту IEEE 802.11 13
1.2 Пропускна здатність стандарту 802.11ax 17
1.3 Принципи функціонування безпроводових LAN стандарту IEEE 802.11.21
1.4 Рекомендації щодо організації мереж стандарту IEEE 802.11 в місцях великого скупчення людей 31
2 РОЗПОДІЛ КАНАЛІВ У MESH-МЕРЕЖАХ СТАНДАРТУ IEEE 802.11 37
2.1 Модель розподілу каналів у Wi-Fi-мережах стандарту 802.11ax 37
2.2 Децентралізований метод розподілу каналів у Wi-Fi-мережах стандарту 802.11ax 41
3 ПРОЕКТУВАННЯ БЕЗПРОВОДОВОЇ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО МЕТОДУ РОЗПОДІЛУ КАНАЛІВ У MESH-МЕРЕЖАХ 56
3.1 Проектування безпроводової мережі на базі стандарту 802.11n 56
3.2 Проектування комп'ютерної мережі на базі стандарту 802.11ax 69
ВИСНОВКИ 81
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 83
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ 86

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АР/ТД – Access Point (точка доступу);

BSS – Basic Service Set (базова зона обслуговування);

CSMA/CA – Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (метод множинного доступу з контролем носійної та запобіганням колізій);

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);

LTE – Long Term Evolution (довгострокова еволюція мереж зв'язку);

MAC – Medium Accsess Control (нижній підрівень канального рівня);

MU-MIMO – Multi User Multiple Input Multiple Output (технологія передавання даних за допомогою N антен і їх прийом M антенами для багатьох користувачів);

OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing (ортогональне частотне розділення каналів з мультиплексуванням);

OSI – Open Systems Interconnection (взаємодія відкритих систем);

PHY – Physical Layer (фізичний рівень);

QAM – Quadrature amplitude modulation (квадратурна модуляція);

QoS – Quality of Service (якість обслуговування);

SDMA – Space Division Multiple Access (багатостанційний доступ з просторовим розділенням каналів);

VoIP – Voice over IP (технологія передавання голосу);

Wi-Fi – Wireless fidelity (висока точність безпроводового передавання даних);

WLAN – Wireless Local Area Network (безпроводова локальна мережа);

МКК - метод розподілу каналів з комбінованим керуванням;

МРК - метод розподілу каналів з розподіленим керуванням;

МЦК - метод розподілу каналів з центральним керуванням.

ВСТУП

У дні сучасних інформаційних технологій кількість способів надання сервісних послуг через Wi-Fi мережу. Цей процес супроводжується удосконаленням технологій передавання даних та підвищення пропускної здатності через Wi-Fi мережу.

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

Будь-яка організація - це набір інтерактивних елементів (блоків), кожен з яких може мати свою структуру . Елементи функціонально взаємопов'язані, тобто вони виконують певні види робіт в рамках єдиного бізнес-процесу, а також інформацію, обмінюються документами, факсами, письмовими та усними інструкціями і так далі. Крім того, ці елементи взаємодіють із зовнішніми системами, і їх взаємодію також може бути як інформативним, так і функціональним.

Цей організаційний огляд дозволяє нам розробити деякі загальні принципи побудови бізнес-інформаційних систем, тобто інформаційних систем у всій організації.

Для створення таких систем, особливо на основі великої корпоративної структури, необхідно створити інтегровану інформаційну та транспортну інфраструктуру для забезпечення ефективної передачі даних між бізнес-одиницями. Тому практично кожна компанія повинна вирішити проблему створення нової мережі ділової інформації або оновлення існуючої. Крім надання інфраструктурних рішень для організації автоматизованих систем, питання якісної галузевої зв'язку, централізованого доступу в Інтернет і мережі передачі однаково важливі для сучасної компанії. Тому для забезпечення якості перерахованих вище послуг і сервісів створюються і впроваджуються сучасні

мережі ділової інформації.

Кожен день в сучасному світі з'являються нові технології, які поліпшать наше життя і зроблять її більш комфортною. І це також відноситься до мережі Wi-Fi. У наше століття ІТ важко уявити навіть день без Інтернету. Бездротові мережі настільки вкоренилися в повсякденному житті, що більшості стало просто неможливо жити без доступу до мережі. Надійний і дуже стабільний Wi-Fi дозволяє працювати з дому, дивитися фільми і телепередачі, спілкуватися з друзями в Інтернеті, завантажувати музику і багато іншого.

Ось чому багато людей використовують безшовну технологію, які замінюють звичайні Wi-Fi роутери і Wi-Fi розширювачі при створенні бездротових мереж. Безшовний Wi-Fi - це популярна технологія, заснована на безшовному роумінгу, яка також може забезпечити покриття Wi-Fi для всього будинку або офісу.

Мета роботи – полягає в удосконаленні безпроводової телекомунікаційної архітектури стандарту 802.11.

Об'єкт дослідження – процес функціонування мережах стандарту 802.11.

Предмет дослідження – методи самоорганізації в безпроводових мережах з метою підвищення пропускної здатності.

Методи дослідження. Для проведення досліджень в рамках магістерської роботи використовувалися методи прикладної теорії інформації, статистичної радіотехніки і математичної статистики, математичного моделювання.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ СТАНДАРТУ IEEE 802.11 ЯК ЗАСОБУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОСТУПУ ДО ІНФОРМАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ

1.1 Особливості стандарту IEEE 802.11

Стандарт IEEE 802.11, розроблений в 1997 році Інститутом інженерів електротехніки та електроніки, є стандартом для організації безпроводового зв'язку в обмеженій зоні в режимі локальної мережі, коли кілька абонентів мають рівний доступ до загального каналу передачі. Стандарт 802.11 є базовим. Він визначає протоколи, необхідні для організації безпроводових локальних мереж (WLAN). Основними є протокол управління доступом до нижнього шару канального рівня (простіше кажучи, середовище MAC (Medium Accsess Control)) та протокол PHY для передачі сигналів у фізичному середовищі [1].

Стандарт 802.11 визначає єдиний підхід MAC, який може взаємодіяти з трьома типами протоколів фізичного рівня, що відповідають різним технологіям передачі сигналів - через радіоканали 2,4 ГГц із широкою модульною модуляцією із спектром прямого розподілу послідовності (DSSS) та часто (спектр розподілу частотних стрибків, FHSS), а також за допомогою інфрачервоного випромінювання. Обидві широкосмугові технології пропонуються у двох смугах частот: одна - близько 915 МГц, інша в діапазоні 2400 - 2483,5 МГц. Діапазон 2,4 ГГц є найвищим для використання в безпроводових мережах, оскільки є найменш «галасливим» стороннім сигналом і розширює смуги передачі.

У режимі FHSS весь діапазон 2,4 ГГц використовується як одна широка смуга (з 79 підканалами). У режимі DSSS один і той же діапазон розділений на кілька широких каналів DSSS, які можуть використовуватися не більше трьох одночасно. Метод FHSS передбачає зміну несучої частоти сигналу при передачі інформації. При використанні FHSS конструкція приймача дуже проста, але цей метод застосовується лише в тому випадку, якщо пропускна здатність не перевищує 2 Мбіт / с. Ця проблема стала однією з основних причин створення

нових версій стандарту. Специфікації цього стандарту передбачають 2 значення швидкості передачі даних - 1 і 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 в діапазоні 2,4 ГГц методом DSSS (метод прямої послідовності).

3. Рівень PHY 802.11b з комплементарним кодуванням CCK 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 із 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 канального рівня з моделлю OSI.

Рівні моделі OSI наведені на Рис. 1.1.

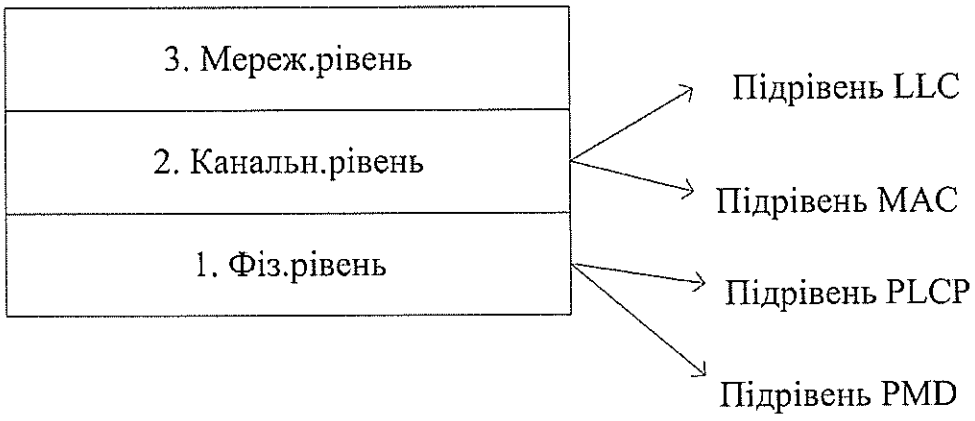


Рис. 1.1. Рівні моделі OSI

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 [2].

Підрівні PLCP та PMD відрізняються для різних варіантів стандарту 802.11.

Нижче наведена таблиця, де порівнюються стандарти 802.11n та 802.11ax .

Таблиця 1.1

Порівняльна характеристика стандартів 802.11n та 802.11ax

Стандарт	802.11n	802.11ax
Рік ратифікації	2009	2014
Робоча частота	2.4/5 GHz	5 GHz
Частотні канали	20/40 MHz	20/40/80/160 MHz
Пікова фізична швидкість	600 Mbps	6.8 Gbps
Максимальна кількість SU-потоків (SU-streams)	4	8
Максимальна кількість MU-потоків (MU-streams)	NA	4
Модуляція	OFDM	OFDM
Тип та швидкість кодування	64-QAM, 5/6	256-QAM, 5/6
Максимальна кількість тонів OFDM	128	512
Рознесення субтонів	312.5 kHz	312.5 kHz

Стандарт 802.11 заснований на стільниковій архітектурі, тому мережа може складатися не тільки з однієї, але і з декількох комірок. Кожна комірка управляється базовою станцією, яка називається Точкою доступу, яка разом із робочими станціями користувача в межах свого діапазону утворює BSS (Basic Service Set). Точки багатоадресного доступу взаємодіють між собою за

допомогою системи розподілу (DS), яка по суті є еквівалентом сегмента магістрального кабелю. Вся інфраструктура, включаючи TD та систему розподілу, утворює розширений набір послуг (ESS).

Стандартом ще передбачений односотовий варіант безпроводової мережі, який може бути реалізований і без ТД. Частина її функцій при цьому виконуються безпосередньо робочими станціями.

У сучасних локальних мережах користувачі можуть безпроводового підключатися до місцевих ресурсів, мережевих послуг та Інтернету. Як правило, при розгортанні безпроводових підприємств кілька точок доступу підключаються до дротової магістральної мережі, яка служить мостом між безпроводовогою та дротовою мережами. Пакети даних, що використовуються безпроводовими мережами, перекладаються точками доступу або контролером, контролери будуть пояснені далі в цьому розділі, в рамках Ethernet, які потім перенаправляються в дротову мережу. Зв'язок між точками доступу та клієнтами є напівдуплексним, що означає, що одночасно лише одна радіо може передавати трафік. Це може спричинити зіткнення та інші проблеми.

У деяких із наступних розділів будуть розглянуті технології та найкращі практики, що пом'якшують порушення поведінки мережі. Точки доступу можна класифікувати на два різні типи: точки доступу на базі контролера, також відомі як тонкі точки доступу, та окремі точки доступу. Автономні точки доступу вважаються застарілими пристроями, і сьогодні ви часто можете побачити тонкі точки доступу в безпроводових мережах. Розгортання тонких точок доступу використовує контролер для централізованого управління безпроводовогою мережею. Контролер налаштовує і управляє точками доступу і традиційно перенаправляє трафік даних. Точки доступу та контролери взаємодіють за допомогою тунельного протоколу, як правило, керуючи та надаючи безпроводові точки доступу (CAPWAP), але деякі провайдери використовують власні протоколи. GRE (Generic Routing Encapsulation) зазвичай використовується для передачі даних, але також може використовуватися CAPWAP.

1.2 Пропускна здатність стандарту 802.11ax

Під час розробки нового стандарту безпровідної мережі основною підтримкою буде підтримка пропускної спроможності зі збереження сумісності з більш ранніми версіями стандартів (у змінених мережах усіх пристроїв, що працюють незалежно від того, яку підтримують версію 802.11) [3].

Носієм інформації в безпроводових мережах є радіохвилі, частота коливань яких в стандарті 802.11n складає 2,4 ГГц. Безпроводова мережа 802.11ax працює на частоті 5 ГГц – звідси і більша пропускна здатність (рис 1.2).

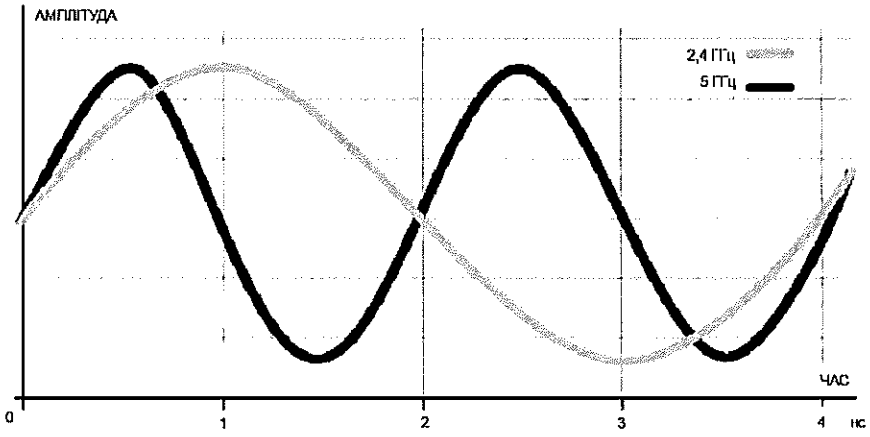


Рис. 1.2. Графік залежності амплітуди від часу для різних частот

Діапазон 2,4 ГГц забезпечує вузьку пропускну здатність 80 МГц для безпроводової мережі, тоді як діапазон 5 ГГц охоплює близько 380 МГц. Звідси більша кількість каналів більшої ширини (фіксовані частоти, які розташовані на деякій відстані один від одного.), Забезпечуючи більш високу швидкість передачі даних. Крім того, цей діапазон менш зайнятий порівняно з 2,4 ГГц: останній займає не тільки всі маршрутизатори 802,11n / g, але також безпроводові телефони та няні, мікрохвильові печі. Через велику кількість джерел перешкод пристрою, які працюють в діапазоні частот 2,4 ГГц, рідко досягають максимально можливої смуги пропускання і перемикаються на стабільний, але повільний режим передачі даних.

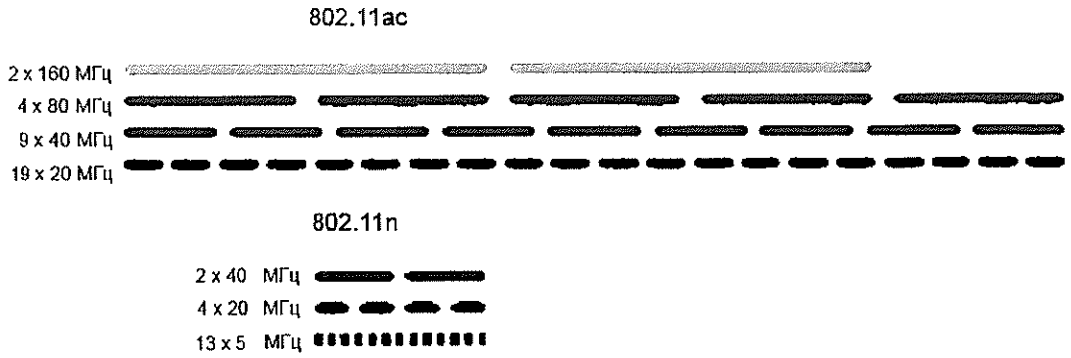
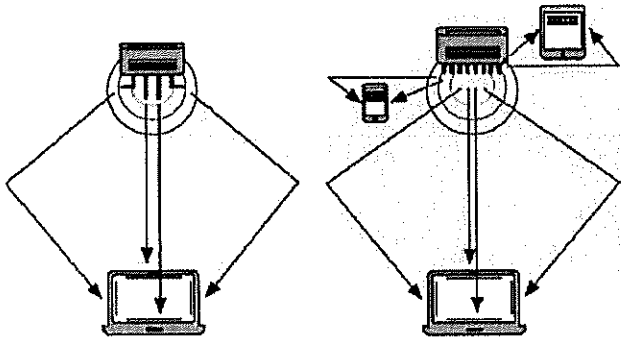


Рис. 1.3. Розділення каналів для стандартів 802.11ax та 802.11n

Пристрої, що належать до нового стандарту 802.11ax, навпаки, можуть використовувати майже весь вільний діапазон частот 5 ГГц. Маршрутизатори попередніх безпроводових стандартів, які працюють у цій смузі, більш сприйнятливі до стін і стель, ніж пристрої в діапазоні 2,4 ГГц. Незважаючи на це, маршрутизатори 802.11ax ефективно працюють навіть за наявності стін, оскільки велика кількість каналів забезпечує більші можливості уникнути перешкод, і маршрутизатори здатні цілеспрямовано видавати сигнал на обладнання клієнта.

Радіостандарт 802.11ax забезпечує гігабітну швидкість із основними вдосконаленнями. Він представив вдосконалений багатокористувацький MIMO (MU-MIMO), який був широко передбачуваною технологією, що дозволяє одночасно спілкуватися з кількома клієнтами. Слід зазначити, що клієнти, які беруть участь у спілкуванні, повинні бути сумісними з MU-MIMO, і що MU-MIMO можливий шляхом визначення фізичного місцезнаходження клієнтів.

Це стало можливим завдяки технології Beamforming (динамічна зміна діаграми антени) (рис. 1.4). Суть його полягає в наступному: маршрутизатор змінює складний сигнал для кожної з спрямованих антен, так що на стороні клієнта сигнал посилюється, в інших - надсилається. Для цього використовується ефект конструктивного та деструктивного втручання. Вбудований маршрутизатор 802.11ax з 8 антенами може взаємодіяти з 4 пристроями, обладнаними 2 антенами.



а) б)

Рис. 1.4. Зв'язок маршрутизатору з клієнтськими пристроями при використанні: а) технології MIMO (стандарт 802.11n); б) технології MU-MIMO (стандарту 802.11ax)

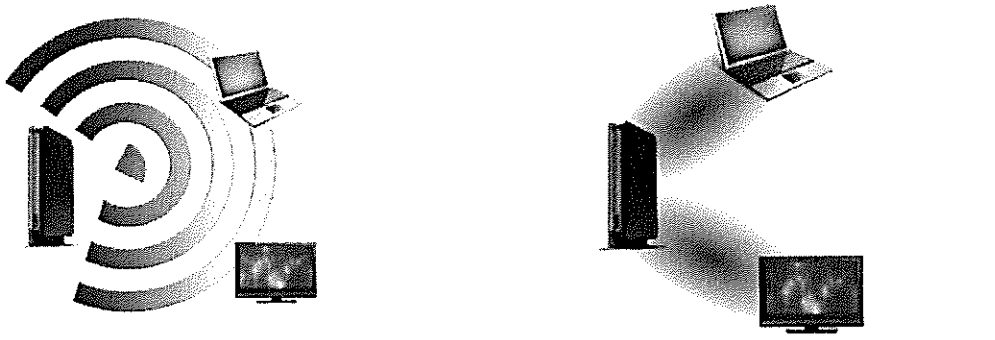


Рис. 1.5. Ілюстрація роботи технологія Beamforming

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 802.11ax 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 [4].

Реалізація MU-MIMO в 802.11ax 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.

З огляду на високу популярність мереж IEEE 802.11, багато постачальників розробили багато обладнання, сумісного зі стандартом. Одними з основних компаній, що виробляють обладнання IEEE 802.11, є Cisco Systems, Aruba Networks, Aerohive Networks та Juniper Networks.

Точки доступу слід розміщувати на столі приблизно в 15 метрах один від одного в одному місці, якщо вони передбачені, якщо це забезпечує оптимальне покриття. Якщо обидва діапазони 2,4 ГГц і 5 ГГц повинні використовуватися разом, рекомендується зменшити 2,4 ГГц для деяких точок доступу. Причиною цього є те, що, як було визначено раніше, діапазон 2,4 ГГц має більший діапазон, а також менше каналів. Якщо радіостанції 2,4 ГГц відтворюють лише незначно, як радіостанції 5 ГГц, мережа буде більш подвійно задіяна в загальних перешкодах каналу. Щоб оцінити, які радіостанції слід вимкнути, потрібно скористатися інструментами опитування ділянок. Наприклад, ви можете використовувати функцію VisualRF на Арубі, яка візуалізує зони покриття цього доступу.

Для підтримки високих швидкостей, що використовують 802.11ax, рекомендується мати гігабітне з'єднання між точками доступу та комутаторами доступу. Що стосується самого кабелю, то, якщо це можливо, рекомендується використовувати кабель Cat 6a, інакше - кабель Cat 5e. Хоча слід зазначити, що деякі дослідження показали, що Cat 6a не підвищує продуктивність пропорційно зростанню цін. У той же час впровадження кабелів Cat 6a все ще може бути фінансово вигідним, якщо мережа має такі функції відтворення часу, як голос і відео, або як засіб для задоволення майбутніх потреб та можливостей мережі.

1.3 Принципи функціонування безпроводових LAN стандарту IEEE 802.11

Основна вимога до безпроводових стандартів - безпечна передача даних. Тому на рівні MAC забезпечується принцип захисту даних, який поєднує шифрування переданих даних та автентифікацію станцій. Цей принцип повинен забезпечувати захист на тому ж рівні, що і в звичайних мережах Ethernet, саме тому він отримав назву WEP (Wired Equivalent Privacy - еквівалент провідної конфіденційності). Алгоритм WEP заснований на використанні 4 загальних для однієї мережі секретних ключів довжиною 40 біт. Шифрування виконується за алгоритмом RC4 RSA Security. Алгоритм застосовує множення блоків вихідних даних до псевдовипадкової послідовності тієї ж довжини, що і блок зашифрованих даних. Генератор псевдовипадкових послідовностей ініціалізується 64-розрядним числом, що складається з 24-розрядного вектора ініціалізації (IV) та 40-розрядного секретного ключа. Важливо, що якщо секретний ключ відомий пристрою і не змінюється, вектор IV може змінюватися в залежності від пакета [5].

Для захисту від несанкціонованих змін переданої інформації кожен зашифрований пакет захищений 32-бітною контрольною сумою (значення перевірки цілісності ICV). Тобто при шифруванні до переданих даних додається 8 байт: 4 для ICV, 3 для IV, а ще 1 байт містить інформацію про номер використовуваного секретного ключа (один з чотирьох). Зверніть увагу, що секретний ключ може бути набагато довшим - 64, 128 біт тощо. Це не суперечить стандарту. Більше того, таке обладнання доступне, але законодавство США забороняє експортувати пристрої, що підтримують шифрування даних із ключем довшим ніж 40 біт. Ось чому виробники обмежуються 240 ключовими варіантами. Додаткові методи захисту інформації та автентифікації в мережах 802.11 описані у стандарті IEEE 802.11.

Рівень MAC. Стандарт IEEE 802.11 визначає 2 режими управління мережею. У першому режимі функції управління розподілені між усіма

пристроями мережі IEEE 802.11. Цей режим позначається абревіатурою DCF (розподілена координаційна функція). Другий режим - коли всі функції зосереджені в певному TD. Цей режим називається PCF (функція координації точок). Абсолютно всі пристрої в режимі DCF працюють за методом конкурентного доступу до каналу передачі. Потреба в централізованому режимі управління PCF виникає при передачі інформації, чутливої до затримок, коли ви хочете реалізувати пріоритети доступу.

У режимі PCF робота може відбуватися лише під контролем спеціального TD, який зазвичай називають точкою координації (PC), і лише з інтервалами, які повторюються через рівні проміжки часу. Коли мережа переходить у режим PCF, інтервали, в яких скасовується конкурентний доступ, з'являються в трафіку. І весь обмін досягається під контролем координуючого пристрою (ПК). По закінченні цього інтервалу мережа перетворюється в режим DCF. Інтервали під контролем ПК рухаються через строго відкалібрований період, на початку кожного інтервалу ПК виставляє вагомий сигнальний кадр (маяк). ПК не може передавати наступний сигнальний кадр, поки канал не стане вільним, тобто наступний інтервал "без конкуренції" може початися з деякою затримкою.

Режим PCF важливий для передачі регулярно повторюваної інформації, чутливої до затримок. Це також ефективно, якщо мережа IEEE 802.11 використовується як середовище доступу до Інтернету (або інших глобальних мереж), тобто забезпечує обмін даними між користувачами та централізованим провайдером. Однак головним принципом мереж Ethernet є довільний конкурентний доступ, що робить останні такими простими у впровадженні та експлуатації. Дротові мережі Ethernet використовують механізм управління носієм багаторазового доступу до каналу зв'язку та виявлення суперечок (CSMA / CD - багаторазовий доступ Carrier Sense з виявленням зіткнень). Станція може розпочати передачу даних, коли канал не зайнятий. Якщо станції виявляють, що кілька станцій намагаються працювати на одному каналі, вони припиняють передачу і намагаються відновити її, коли минув випадковий проміжок часу.

Навіть під час передачі пристрій повинен контролювати канал, працюючи на прийомі.

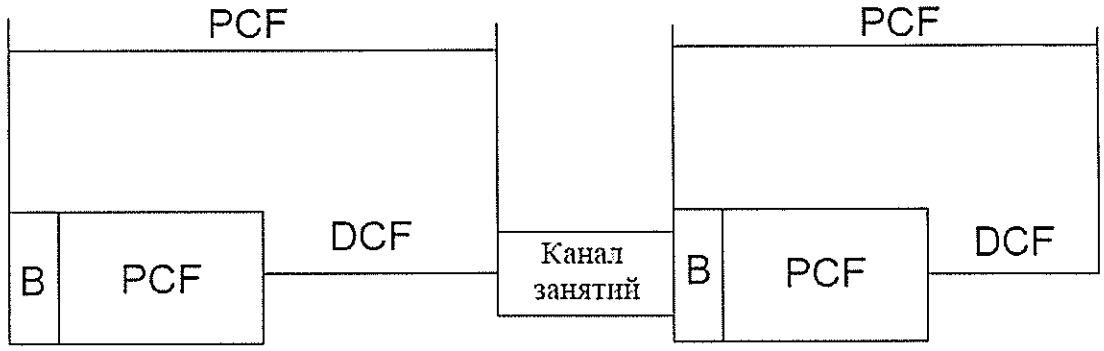


Рис. 1.6. Цикли роботи мережі в режимах з: централізованим (PCF) і розподіленим (DCF) управлінням

Те, що досить просто з дротовим зв'язком, викликає проблеми в безпроводовогому зв'язку - загасання сигналу в повітрі набагато потужніше, ніж у самому проводі. Тому є 2 серйозні проблеми. По-перше, досить складна, якщо в принципі розв'язувана, задача управління несучою передавальним пристроєм (коли він транслює, власний сигнал, на відміну від сигналу віддаленого пристрою, є більш потужним). По-друге, існує ймовірна ситуація, коли 2 пристрої віддалені і не чують один одного, але обидва потрапляють в зону покриття третього пристрою. Це називається проблемою прихованих станцій. Якщо пристрої A і B почнуть передавати, вони не зможуть виявити конфліктну ситуацію і те, чому пакети не проходять в принципі [6].

Для запобігання подібним проблемам було прийнято механізм CSMA / CA (Multi-Access Carrier Sensing with Co уникання зіткнень) - багаторазовий доступ з контролем перевізника та запобіганням зіткненням. Перед передачею пристрій слухає ефір і чекає звільнення каналу. Він визначається як вільний, якщо протягом певного інтервалу часу не зафіксовано жодної діяльності - між інтервалами кадру (IFS) певного типу. Якщо протягом цього періоду канал залишався вільним, пристрій очікує випадковий час затримки і, якщо канал все ще не зайнятий, пересилає пакет. Якщо пакет специфічний для пристрою (не

широкомовна або багатоадресна), приймач, який успішно отримав пакет, передає передавачу короткий кадр підтвердження підтвердження ACKnow. Якщо передавач не отримав ASK, він вважає відправлений пакет втраченим і повторно виконує процедуру його передачі.

Зверніть увагу, що якщо пристрій передає пакет вдруге, він повинен використовувати розширений інтервал пакетів (EIFS), щоб чітко визначити неробство каналу. Крім того, час затримки вибирається випадковим чином з певним інтервалом. З першої спроби він мінімальний. З кожним наступним він стає вдвічі більшим, поки не досягне заданого граничного значення. Ці заходи призводять до того, що пристрій, який успішно передав пакет, має ту перевагу, що захоплює канал.

Перед початковою спробою отримати доступ до каналу пристрій завантажує в спеціально розроблений лічильник тривалість випадкового інтервалу затримки. Поки канал вільний, його значення зменшується з заданою частотою. Як тільки лічильник буде скинуто, пристрій може зайняти канал. Рахунок зупиняється, зберігаючи досягнуте значення, у випадку, якщо канал зайняв інший пристрій до занулення лічильника. При наступній спробі відлік починається із збереженого значення. Як результат, той, хто не встиг минулого разу, швидше за все перейде на наступний канал. У дротових мережах Ethernet такого механізму немає.

Однак описані процедури доступу не усувають проблему прихованих станцій. Для її подолання використовуються два додаткові кадри: RTS (Запит на надсилання) та CTS (Очистити для надсилання). Пристрій, який бажає надіслати пакет даних, передає короткий кадр RTS одержувачу. Якщо приймальний пристрій готовий до прийому, він встановлює передавач відповідний кадр - CTS. Далі, згідно з описаною вище процедурою, передавальний пристрій надсилає кадр з даними і чекає підтвердження ASC.

Стандарт IEEE 802.11 забезпечує 2 механізми моніторингу активності в каналі (виявлення несучої): фізичний та віртуальний. Перший механізм реалізований на фізичному рівні і полягає у визначенні рівнів сигналу в антені та порівнянні його з пороговим значенням. Механізм виявлення віртуальної несучої

заснований на тому, що передані кадри даних, а також кадри управління ASC та RTS / CTS містять дані про час, необхідний для передачі пакету (або групи пакетів) та отримання підтвердження. Усі мережеві пристрої отримують інформацію про поточну передачу та можуть визначати, як довго канал буде зайнятий. Тобто, коли встановлено зв'язок, пристрій повідомляє всім, скільки часу резервує канал.

Як зазначалося вище, усі обміни в мережах IEEE 802.11 відбуваються з використанням окремих кадрів. За їх структурою найбільш чітко проглядається поділ на фізичний рівень та рівень MAC. Насправді формування кадру відбувається на рівні MAC, на фізичному рівні він додається до відповідного заголовка фізичного рівня (PLCP). Пакети передаються на рівень MAC із додатків верхнього рівня. Якщо їх розмір перевищує максимально дозволений в IEEE 802.11, тоді відбувається дефрагментація, і великий пакет ділиться на кілька невеликих, які передаються за спеціальною процедурою.

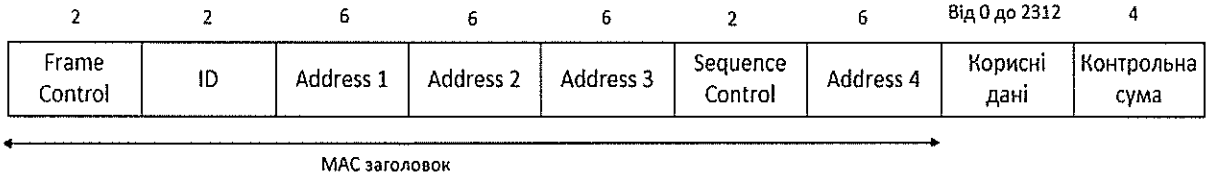


Рис. 1.7. Структура кадрів у MAC-рівні мережі 802.11

Існує три типи кадрів рівня MAC: кадри даних, кадри управління (ASK, RTS, CTS) та кадри управління (наприклад, Beacon). Їх структура однакова (Рис. 1.4). Кожен кадр MAC включає заголовок MAC, поле даних (Body Frame) і контрольну суму CRC [7].

Заголовок надає повну інформацію про версію протоколу стандарту IEEE 802.11, тип кадру, систему захисту (поле Контроль кадрів), тривалість процедури передачі пакетів (Тривалість / ID), адресу одержувача / відправника (Адреса L-4; чотири адреси поля, необхідні, якщо пакети передаються з підмережі однієї точки доступу до підмережі іншої), а також інформація про послідовність асоційованих

пакетів (Sequence Control). Поле даних може бути різної довжини або відсутнє (у кадрах управління).

Збільшення швидкості до 54 Мбіт / с було реалізовано в стандарті 802.11a. Цей стандарт почав розроблятися раніше, ніж стандарт 802.11, але остаточна версія була випущена пізніше. В основному, це було досягнуто за рахунок збільшення глибини модуляції до 64 рівнів на персонажа. Крім того, була переглянута радіочастотна частина: поширення спектру методом прямої послідовності замінено методом послідовного поділу сигналу на паралельні ортогональні піднесучі (OFDM). Використання паралельної передачі на 48 підканалах дозволило зменшити міжхарактерні перешкоди за рахунок збільшення тривалості окремих символів. Передача даних здійснювалася в діапазоні 5 ГГц. Ширина одного каналу становить 20 МГц.

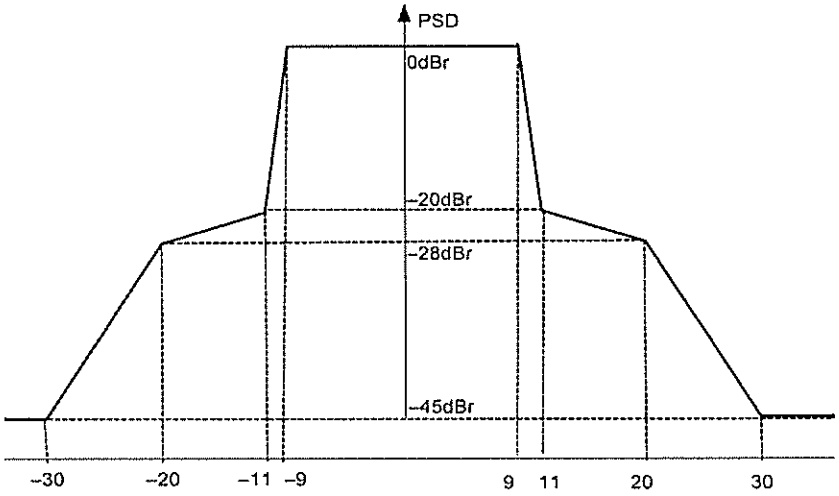


Рис. 1.8. Обвідна спектру випромінювання передавача

На відміну від 802.11 та 802.11b, навіть часткове перекриття цієї смуги може призвести до помилок передачі. На щастя, в діапазоні 5 ГГц відстань між каналами однакова в 20 МГц.

Стандарт 802.11g не став проривом з точки зору швидкості передачі даних. Насправді цей стандарт був компіляцією 802.11a та 802.11b у діапазоні 2,4 ГГц: він підтримував швидкості обох стандартів.

Значне збільшення швидкості відбулося у стандарті 802.11n (як в діапазонах 2,4, так і в 5 ГГц): до 72 Мбіт / с за рахунок зменшення захисних інтервалів між

переданими символами. Крім того, для збільшення пропускної здатності можна було поєднати два канали по 20 МГц і отримати 150 Мбіт / с. Однак це не найкращий спосіб збільшити швидкість: в діапазон 2,4 МГц може поміститися лише один додатковий канал в 40 МГц. Іншим способом збільшення швидкості стала технологія MIMO: використання декількох приймачів, що працюють на одній частоті. Розподіл каналів зумовлений просторовим розмаїттям антен та математичними операціями над сигналом, що надходить на різні антени: він буде відрізнятися через багатопроменеве поширення радіохвиль. Стандарт 802.11n підтримує MIMO 4x4: 4 (чотири незалежних канали) і забезпечує швидкість до 600 Мбіт / с.

Однак ця технологія вимагає високоякісного виготовлення радіодеталі пристроїв. Крім того, дані про швидкість не застосовуються в принципі на мобільних терміналах (основна цільова група стандарту Wi-Fi): наявність 4 антен з достатнім розмаїттям не може бути реалізована на невеликих пристроях через брак місця та брак достатня кількість енергії.

У більшості випадків швидкість 600 Мбіт / с - це не більше, ніж маркетинговий підступ і застосовується на практиці, оскільки насправді її можна досягти лише між стаціонарними точками доступу, встановленими в одній кімнаті, з хорошим співвідношенням сигнал / шум [8].

Наступним кроком у швидкості передачі даних був виконаний стандарт 802.11ax: максимальна швидкість, передбачена стандартом, становить 6,93 Гбіт / с, але насправді ця швидкість ще не досягнута на жодному обладнанні на ринку. Збільшення швидкості досягається збільшенням смуги пропускання до 80 і навіть до 160 МГц. Така смуга не може бути надана в діапазоні 2,4 ГГц, тому стандарт 802.11ax працює лише в діапазоні 5 ГГц. Ще один фактор збільшення швидкості збільшення глибини модуляції до 256 рівнів на символ. На жаль, таку глибину модуляції можна отримати лише поблизу точки через підвищені вимоги щодо відношення сигнал / шум. Ці вдосконалення дозволили збільшити швидкість до 867 Мбіт / с. Решта збільшення була отримана завдяки раніше згаданим потокам MIMO 8x8: 8. 867x8 = 6,93 Гбіт / с. Технологія MIMO була вдосконалена: вперше

за стандартом Wi-Fi інформація в одній мережі може передаватися двом абонентам одночасно за допомогою різних просторових потоків.

Нижче наведена таблиця, що порівнює стандарти IEEE для семи параметрів, які нас найбільше цікавлять у вибраній темі.

Таблиця 1.2

Характеристика стандартів мережі Wi-Fi

Параметр	802.11b	802.11a	802.11g	802.11n	802.11ax
Максимальна швидкість	22	54	54	600	6930
Розширення спектра	DSSS	OFDM	DSSS/OFDM	OFDM	OFDM
Збільшення швидкості завадостійкого коду	+	+	=	=	=
Збільшення глибини модуляції	+	+	=	=	+
Зменшення захисного інтервалу	-	-	-	+	=
Збільшення смуги	-	-	-	+	+
Просторові канали	-	-	-	+	+

У таблиці перелічені основні способи збільшення пропускної здатності "" - "- метод не застосовується," "+" - швидкість збільшена за рахунок цього фактора, "=" - цей коефіцієнт залишився незмінним.

Ресурси скорочення ресурсів вже вичерпані: максимальна швидкість шумостійкого коду 5/6 була досягнута в стандарті 802.11a і з тих пір не зростала. Збільшення глибини модуляції теоретично можливо, але наступним кроком є 1024 QAM, що дуже вимогливо до відношення сигнал / шум, що значно зменшить дальність точки доступу на високих швидкостях. Так, вимоги до апаратного забезпечення приймачів збільшаться. Зменшення інтервалу міжсимвольного захисту також навряд чи стане способом підвищення швидкості - зменшення цього загрожує збільшенням помилок, спричинених міжсимвольними

перешкодами. Збільшити пропускну здатність каналу вище 160 МГц також малоймовірно, оскільки здатність організовувати видатні комірки буде сильно обмежена. Ще менш реалістичним є збільшення кількості каналів MIMO: навіть два канали є проблемою для мобільних пристроїв (через енергоспоживання та розмір).

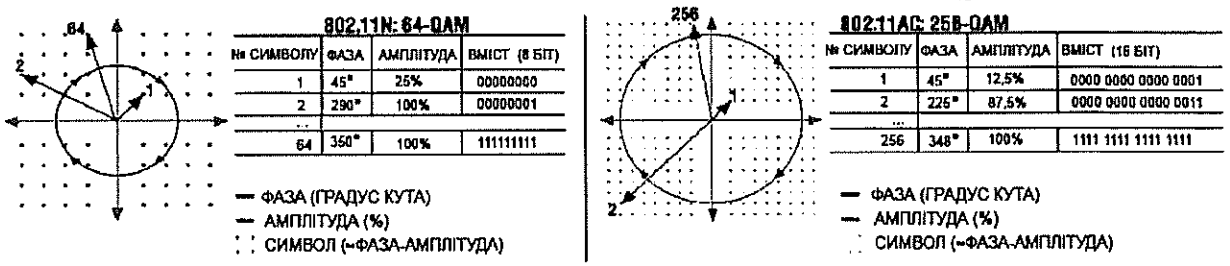
З перерахованих методів збільшення швидкості передачі велика частина в якості оплати додатка забирає корисну площу покриття: пропускна здатність хвиль зменшується (перехід від 2,4 до 5 ГГц) і вимоги до сигналу - коефіцієнт шуму (збільшення глибини модуляції, збільшення швидкості коду) збільшується. . Тому в своєму розвитку мережі Wi-Fi постійно прагнуть зменшити площу, що обслуговується єдиним пунктом на користь швидкості передачі даних [9].

В якості доступних напрямків вдосконалення можуть бути використані: динамічний розподіл піднесучих OFDM між абонентами по широких каналах, вдосконалення алгоритму доступу до навколишнього середовища, спрямованого на зменшення обсягу обслуговування і використання методів компенсації перешкод.

Загалом, тенденція зменшення площі обслуговування видається основною тенденцією сучасного безпроводового зв'язку. Деякі експерти вважають, що стандарт LTE досяг пікової смуги пропускання і не зможе розвиватися далі через фундаментальні причини, пов'язані з обмеженим частотним ресурсом.

Удосконалення методу модуляції у новому стандарті збільшує щільність даних у сигналі безпроводової мережі. Безпроводове з'єднання встановлюється після того, як передавальний пристрій передає радіохвилю певної частоти і приймальний пристрій налаштований на нього. Біти передаються завдяки тому, що техніка передачі модулює несучий сигнал. Приймаючий пристрій аналізує зміни в сигналі і перетворює їх у відповідні біти. Існує кілька методів модуляції, включаючи квадратурну (16-QAM), яка використовується в безпроводових мережах 802.11g / n. Передавальний пристрій ділить потік даних на кілька частин з чотирьох бітів. Для чотирьох бітів допускається 16 різних символів, які можна

об'єднати в будь-яку послідовність бітів. Символи відповідають зазначеним координатам "фаза" та "амплітуда" (рис. 1.9).



а) б)

Рис. 1.9. Методи модуляції даних: а) 64-QAM (стандарт 802.11n); б) 256-QAM (стандарт 802.11ax)

Аналізуються амплітуда (інтенсивність) та фаза (взаємна зміна двох радіохвиль) сигналу, після чого на основі цих значень формується так званий символ, який у країні 802.11 становить до 16 біт.

Для передачі символів передавальний пристрій вивчає дві радіохвилі, у яких для кожної частини даних потоку однакової амплітуди білок змінюється відносно один одного по фазі на фігуру протягом певного періоду часу. Ці дві координати прийнятного співвідношення мають 16 символів, які в даному випадку дотримуються, і повторно поєднують бітовий потік, використовуючи чотири біти за тактовий цикл. Якщо вам потрібно збільшити обсяг інформації про символи з чотирьох до восьми бітів, вам потрібні більш точні координати. Метод модуляції 64 - стандарт QAM 802.11n передбачає отримання восьми бітів на символ, оскільки в 802.11ax (модуляція 256 - QAM) їх кількість досягає 16. Якщо потужність сигналу низька, наприклад, якщо пристрої розташовані на великій відстані від один одного, то немає можливості ідентифікувати координати з необхідною високою точністю. Елементи керування визначають це і перетворюють на простіший метод модуляції з меншою кількістю символів

Оскільки маршрутизатори 802.11 можуть одночасно підтримувати два типи безпроводових мереж (802.11ax та 802.11n), їх також називають "застарілими полями", які вирішують конфлікти між пакетами даних у цих мережах.

Енергозбереження - одна з сильних сторін стандарту 802.11as. Фішки, засновані на цій технології, прогнозуються на всіх мобільних пристроях, оскільки це збільшує автономність не тільки рівних, але і більш високих швидкостей передачі даних.

При активному обміні даними з Інтернетом акумулятор мобільного пристрою розряджається в півтора-два рази швидше, ніж зазвичай. Нові пристрої в 6 разів більш енергоефективні порівняно з аналогами на базі 802.11n. Однак на практиці середній показник економії буде набагато нижчим, ніж заданий.

Крім того, збільшена пропускна здатність технології 802.11ax дозволяє швидко завантажити необхідний файл з Інтернету, а потім миттєво перевести контролер безпроводової мережі в режим сну, щоб мінімізувати енергоспоживання. Очікується, що смартфони та планшети будуть використовувати більш енергоефективні контролери Wi-Fi 802.11ax зі швидкістю передачі даних від 433 Мбіт / с до 866 Мбіт / с [10].

1.4 Рекомендації щодо організації мереж стандарту IEEE 802.11 в місцях великого скупчення людей

Перш за все слід зазначити, що сучасні підходи до проектування мереж високої щільності базуються на розумінні того, що основним користувачем у такому сценарії є людина з мобільним пристроєм. Загальна кількість людей, присутніх у таких місцях, дуже велика, тому кількість потенційних користувачів мережі Wi-Fi також може бути великою.

Не так давно в мережу Wi-Fi виникла недовіра, оскільки її безпека вважалася слабкою порівняно з прийнятою мережею 3G з точки зору безпеки та прозорості процесу автентифікації абонента. Однак зараз більшість операторів мобільних мереж вважають, що завдяки впровадженню технологій 802.1x, 802.11i, 802.11u та HotSpot 2.0 рівень безпеки та зручності використання Wi-Fi почав відповідати рівню 3G та LTE.

Ось проблеми для дизайнерів безпроводових мереж високої щільності:

- Перешкоди від інших мереж Wi-Fi.

- Перешкоди від інших пристроїв, що працюють у цьому діапазоні.

- Міжканальне втручання через близьке розташування ТД.

- Складність розміщення та монтажу обладнання.

- Зниження продуктивності мережі завдяки клієнтам, що використовують стандарт IEEE 802.11b.

- Зниження швидкості передачі через неправильний розподіл клієнтів по діапазонах (використання діапазону 2,4 ГГц, коли можна використовувати 5 ГГц).

- "Прилипання" клієнтів, коли пристрій залишається підключеним до точки доступу, навіть коли клієнт перемістився на інший кінець об'єкта тощо.

Wi-Fi на стадіонах: технологія високої щільності

Найбільші спортивні майданчики у світі можуть вмістити величезну кількість глядачів. Глядачі будь-якої спортивної події, звичайно, відразу хочуть поділитися своїми емоціями та враженнями з друзями в соціальних мережах. І, крім текстових повідомлень, відвідувачі публікують величезну кількість фотографій, відео, а іноді навіть прямих ефірів. Мережі 3G та 4G не завжди можуть впоратися з цим завданням, і тоді їм допомагає Wi-Fi, який забезпечує глядачам безпроводовий доступ до Інтернету на всій спортивній базі. Для стадіонів така послуга є більше даниною прогресу, показником відповідності сучасним технологіям, ніж необхідним елементом обслуговування, як у ресторанах та кафе. Зрештою, розгортати безпроводову мережу в умовах високої щільності споживачів навіть на стадіоні з 10 тисяч людей - завдання складне і трудомістке, не кажучи вже про фінансову складову цього питання. Тим не менше, існує безліч успішних прикладів проектування мереж Wi-Fi на стадіонах.

Звичайно, класична схема, яка використовує точки доступу зі всеспрямованими антенами, розрахована на 20-30 клієнтів, тут не працює. На 38-му стадіоні щільність користувачів становить близько 2-3 клієнтів на квадратний метр, тобто точка доступу може просто не справлятися з навантаженням. З іншого боку, якщо ви встановлюєте занадто багато точок доступу або збільшуєте їх

пропускну здатність, не уникайте перешкод. Також майте на увазі пропускну здатність обладнання - чим довший діапазон дії антени, тим більше користувачів може підключитися до точки доступу. Відповідно, пропускна здатність кожного клієнта зменшиться. Діапазон 2,4 ГГц обмежений лише трьома розрізненими каналами, тоді як у діапазоні 5 ГГц є 11. Однак не всі пристрої підтримують 5 ГГц, а це означає, що мережа повинна бути розроблена для обох смуг. Використання точок доступу, які підтримують стандарт IEEE 802.11ax, може збільшити пропускну здатність. Це дозволяє не тільки збільшити кількість клієнтів у стільнику, але й забезпечити роботу додатків великої ємності. Технологія Band Select також може бути використана для розвантаження мережі, яка примусово передає клієнтів з двома діапазонами 5 ГГц [11].

Крім того, необхідно зменшити діапазон точок доступу, щоб створити невеликі зони обслуговування. Тут використовуються антени з вузьким малюнком, зменшується потужність передавача, відключаються низькі швидкості каналів (за відсутності клієнтів IEEE 802.11b) та відключається обробка низькосигнальних абонентських пакетів (наприклад, технологія SiXo RX-SOP). Втручання від інших мереж та пристроїв також зменшується за рахунок зменшення потужності та діапазону точок доступу.

Потужність точок доступу переважно встановлюється відповідно до максимальної потужності пристрою з найменшою потужністю в мережі, щоб уникнути утворення асиметричних каналів і збоїв в покритті мережі. Якщо ви хочете збільшити зону покриття точки доступу, вам слід збільшити потужність антени, а не передавача.

Іншим важливим моментом є кількість використовуваних SSID. На стадіонах часто відбувається сегментація мережі за допомогою різних SSID - для преси, для кабінету коментарів, для VIP-гостей тощо. З одного боку, це дуже зручно, а з іншого боку, є певні труднощі. Справа в тому, що мережа надсилає кадри управління з кожного SSID, тому радіо мережі Wi-Fi високої щільності частково зайняте контрольним трафіком. Щоб уникнути цієї ситуації, використовуйте мінімальну кількість SSID. В ідеалі він повинен бути один.

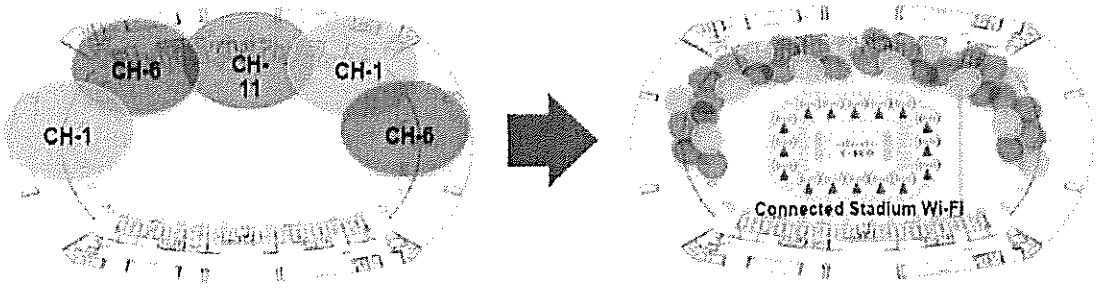


Рис. 1.11. Поліпшення зони охоплення і пропускної спроможності за допомогою Cisco Connected Stadium Wi-Fi

Що стосується обладнання, найбільші виробники, такі як Cisco Systems, Aruba Networks, Ruckus, Extreme Networks, Huawei та інші пропонують комплексні рішення. Сюди входить, наприклад, Wi-Fi Cisco Connected Stadium.

Основними компонентами такої системи є контролери (основний та резервний) для централізованого управління, точки доступу та антени. Кожна точка доступу розрахована приблизно на 250-500 користувачів. Антени, як і точки доступу, повинні підтримувати дві смуги - 2,4 і 5 ГГц та технологію MIMO. Бажано, щоб користувальницькі пристрої та антени знаходились у прямій видимості, тобто антени повинні бути встановлені на стінах стадіону або на даху зсередини.

Безпроводова мережа, побудована на традиційному дизайні, не впорається із завданнями. Результатом будуть великі втрати пакетів, велика кількість повторювачів і, як результат - надзвичайно низькі швидкості передачі даних, нестабільні послуги.

Скорочення площ точок доступу досягається за рахунок:

- використання спеціалізованих вузькоспрямованих антен;
- відключення низьких швидкостей каналу (до 12 Мбіт / с);
- відключення обробки абонентських пакетів з поганим сигналом (RX-SOP);
- зменшення потужності передавача.

Ще потрібно:

1. Захистіть зону покриття HD від фальшивого Wi-Fi. Негативний вплив на покриття глядацької зони чаші стадіону можуть забезпечити власні точки, розташовані у VIP-зонах, вестибюлях біля виходів на поле. Рецепт той самий - контроль потужності та радіопокриття.

2. Зменшення використання радіо: не використовуйте більше чотирьох ідентифікаторів SSID (в ідеалі - один) у зонах зору, оскільки кожен SSID вимагає окремого пакета Beacon, і кожен трансляційний SSID відповідає на запит нульового зонду; боротися з втручанням, спровокованим клієнтом, запрошуючи глядачів підключитися до мережі Wi-Fi, оскільки підключений пристрій починає надсилати запит зонду в рази рідше; видалити сторонні точки доступу та спеціальні пристрої як джерела перешкод та генератори маяків, запит зонду, пакети відповідей зонду та відмовитися від використання "суміжних" мереж Wi-Fi та використовувати єдину безпроводову мережу.

Планування в готелі. Що стосується розгортання безпроводового зв'язку, типовий готель дещо складніший, ніж офісна відкрита площа чи кав'ярня. Так, щільність з'єднання споживачів тут не така висока, але на поширення сигналу впливають стіни, меблі, елементи інтер'єру, труби та інші інженерні споруди. У цьому випадку для кінцевого результату (для забезпечення якісного обслуговування гостей) надзвичайно важливим є співвідношення рівнів сигналу та шуму в будь-якому місці готельного номера. Тому навіть на стадії проектування мережі необхідно провести повноцінну радіозйомку та радіопланування, що дозволяє визначити оптимальне розташування обладнання [12].

Хороша точка доступу для готелів повинна бути двосмуговою. Пристрій повинен забезпечувати балансування навантаження, в тому числі через функцію Band Steering, яка дозволяє переключитися на діапазон 5 ГГц клієнтів із підтримуючими пристроями, звільняючи діапазон в діапазоні 2,4 ГГц (для пристроїв, які не підтримують другий діапазон) .

У нових пристроях для безпроводового зв’язку для приміщень (тобто тих місць, де поширення сигналу утруднене перекриттями, меблями тощо)

передбачена технологія Beamforming, яка змінює умови передачі сигналу в залежності від особливостей оточення. Пристрій визначає, за яким напрямом найбільші втрати сигналу, причому вирішуватися це завдання може як спільно з абонентським пристроєм, так і точкою доступу самостійно, в залежності від підтримуваних клієнтом стандартів.

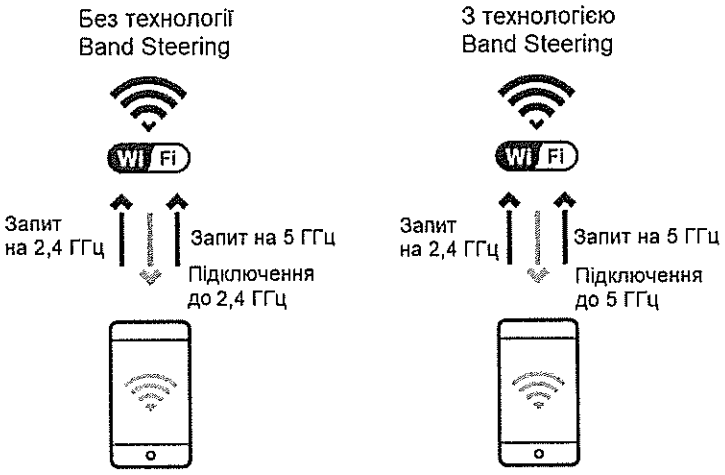


Рис. 1.12. Технологія Band Steering

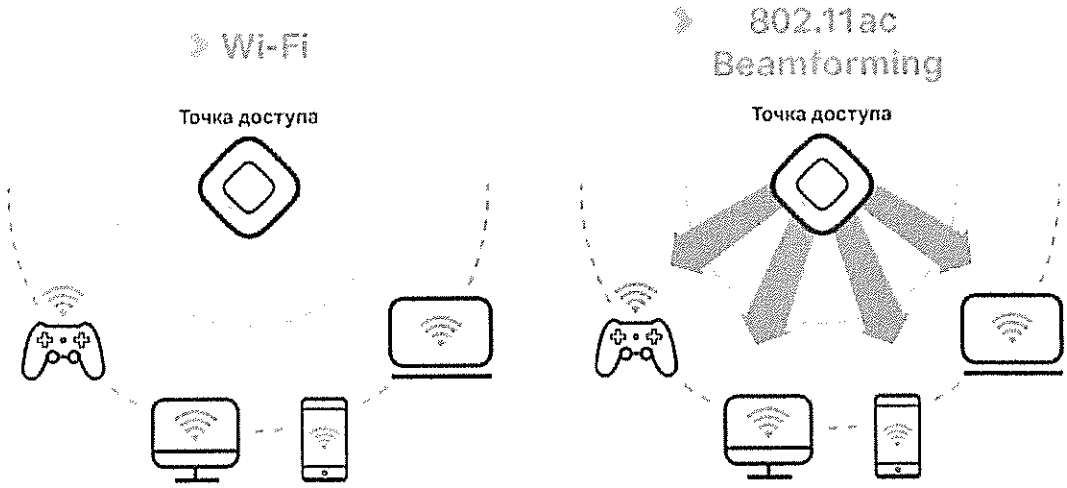


Рис. 1.13. Приклад застосування технології Beamforming

Варто відзначити технологію, яка вже стала обов'язковою в мережах рівня Enterprise: Airtime Fairness, що забезпечує захист від «повільного клієнта», який тепер не зможе монополізувати ресурси точки доступу і не погіршить загальну продуктивність мережі.

2 РОЗПОДІЛ КАНАЛІВ У MESH-МЕРЕЖАХ СТАНДАРТУ IEEE 802.11

2.1 Модель розподілу каналів у Wi-Fi-мережах стандарту 802.11ax

Відповідно до постановки завдання розподілу каналів у Wi-Fi-мережах, наведеної у другому розділі, результат рішення задачі розподілу каналів в цілому можна представити у вигляді наступного вектора [13]:

$$\vec{x} = \vec{x}_1 ... \vec{x}_Z \tag{2.1}$$

при

$$\vec{x}_z = x_{1,1}^1 ... x_{N_z, m_{N_z}}^K, \tag{2.2}$$

де N_z – загальне число mesh-станцій в зоні стійкого прийому G_z; m_{N_z} – кількість радіоінтерфейсів на mesh-станціях в зоні G_z.

Вектор $\vec{x}_z$ (2.2) характеризує порядок розподілу каналів в z-й зоні стійкого прийому і має розмірність $K \times N_z \times m_{N_z}$. Для z-й TR-зони вектор розподілу каналів $\vec{x}_z$ також можна уявити в декомпозиційному вигляді:

$$\vec{x}_z = \begin{bmatrix} \vec{x}_z^{'} \\ \vec{x}_z^{''} \end{bmatrix}, \tag{2.3}$$

де $\vec{x}_z^{'}$ – вектор розподілу каналів между PI mesh-станцій, кі знаходяться тільки в цій z-й TR-зоні; $\vec{x}_z^{''}$ – вектор розподілу каналів між PI mesh-станцій, знаходяться крім z-й TR одночасно ще й в інших (інший) TR. Результатом розрахунку вектора (2.3) є порядок розподілу каналів в зоні стійкого прийому mesh-мережі.

З метою забезпечення ідентичного управління ресурсами (каналами зокрема) mesh-станцій, що знаходяться одночасно в кількох зонах стійкого прийому, введемо наступне умова на взаємодію зон стійкого прийому:

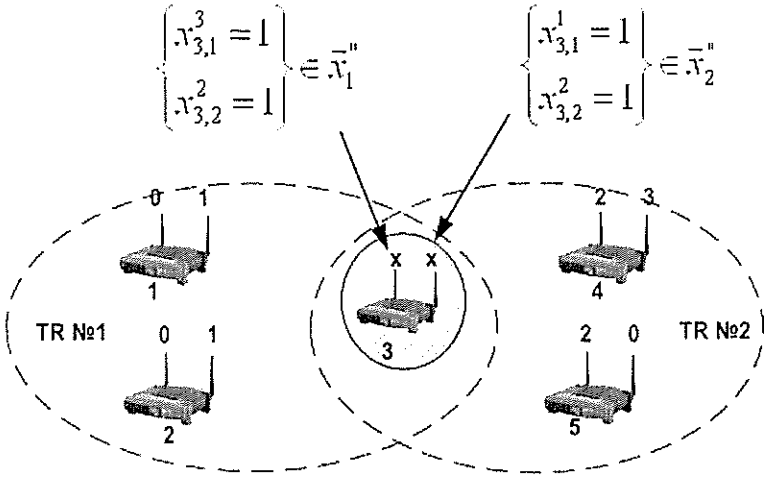
$$\vec{x}_z'' = \sum_{\substack{y=1,\\ y\neq z}}^{Z} C_{zy}\vec{x}_y'', \; z=\overline{1,Z}. \qquad (2.4)$$

За допомогою даної умови здійснюється узгоджене управління станціями, які можуть забезпечувати зв'язність зон стійкого прийому, як показано на рис. 2.1, б. Так, при не виконанні умови (2.4) кожна з зон стійкого прийому «нав'язує» радіоінтерфейсу mesh-станції канали, використання яких неприпустимо через взаємних перешкод і впливів, зокрема через роботу суміжних mesh-станцій на одному частотному каналі (рис. 2.1, а).

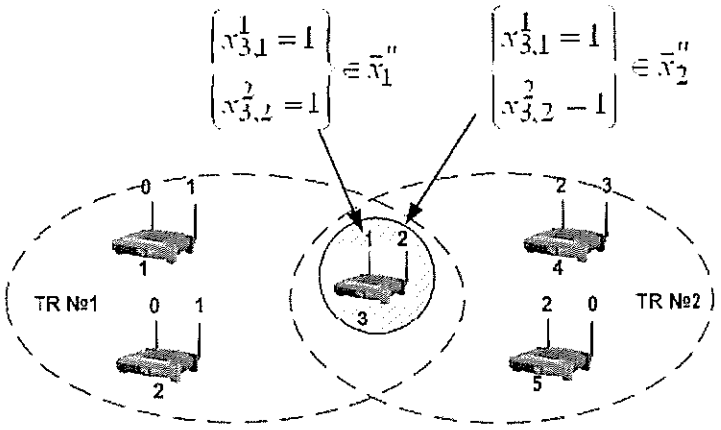
Для забезпечення зв'язності створюваних доменів колізій mesh-станцій використовуємо умову (2.6). Однак з огляду на те, що дана умова має відношення до станції, яка знаходиться в декількох доменах колізій, надалі знадобиться його Декомпозиційне уявлення. Для цього праву частину умови (2.6), яка чисельно характеризує число включених радіоінтерфейсів в mesh-мережі, запишемо у вигляді:

$$\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{m_i}\sum_{k=1}^{K} x_{i,j}^{k} = \sum_{z=1}^{Z} E_z^t \vec{x}_z, \qquad (2.5)$$

де E_z $(z=\overline{1,Z})$ – складаються з нулів і одиниць вектори розмірності $N_z \times 1$, структура яких вибирається таким чином, щоб підсумовування включених PI mesh-станцій, що знаходяться одночасно в декількох TR, здійснювалося лише один раз.



а) умова яка не виконується



б) умова виконується

Рис. 2.1. Приклад управління mesh-станцією, яка знаходиться одночасно у двох зонах стійкого прийому

Тоді з урахуванням рівності (2.5) умова (2.6) зручно представити в наступному вигляді: $N_z \times 1$,

$$-E_z^t \vec{x}_z \le \sum_{\substack{r=1,\\ r\neq z}}^{Z} E_r^t \vec{x}_r - N - K + 1. \qquad (2.6)$$

Для управління mesh-станціями, які перебувають в одній зоні стійкого прийому в Декомпозиційній моделі, як і в моделі, запропонованій в другому розділі, також присутні умови обмеження (2.2)-(2.5) і (2.7)-(2.8). Їх виконання націлене на облік вимог, яким повинні задовольняти перспективні математичні моделі розподілу каналів у Wi-Fi-мережах. Умови (2.2)-(2.5) і (2.7)-(2.8) не потребують декомпозиції зважаючи відносини їх до однієї mesh-станції або станціям однієї зони стійкого прийому [14].

У рамках декомпозиційного представлення моделі розподілу каналів у mesh-мережі виникають деякі труднощі, пов'язані з неможливістю декомпозиції цільової функції (2.13), яка характеризує мінімальний поріг зваженого числа mesh-станцій у створюваних доменах колізій. Основними вимогами при виборі цільової функції є, по-перше, облік фізики процесів розподілу каналів у Wi-Fi-мережах, по-друге, адитивна форма цільової функції,

необхідна для проведення подальшої декомпозиції. Тому в якості критерію оптимальності одержуваних рішень в рамках Декомпозиційної моделі виберемо мінімум цільової функції, пов'язаної з мінімізацією зваженої кількості включених в мережі радіоінтерфейсів:

$$\min_x F \text{ при } F = \vec{f}^t \vec{x}, \tag{2.7}$$

яка характеризує витрати на частотне планування в mesh-мережі, де вагові коефіцієнти-координати вектора по суті є параметрами mesh-мережі та окремих станцій, що підлягають періодичному моніторингу або уточненню і, що характеризують, наприклад, відносну вартість (пріоритет) використання радіоінтерфейсів і каналів, активність mesh-станцій; $[\bullet]^t$ – операція транспонування матриці (вектора).

Дійсно, чим менше радіоінтерфейсів mesh-станцій включено, тим менше рівень інтерференції, а значить-вища продуктивність mesh-мережі. Варто відзначити, що якщо всі координати вектора дорівнюють одиниці, то завдання зводиться до мінімізації в mesh-мережі числа включених радіоінтерфейсів.

Таким чином, в рамках розробки децентралізованого методу (2.1)-(2.5) і (2.1)-(2.7) також забезпечується узгоджене рішення приватних завдань розподілу каналів у mesh-мережі: кластеризації, виділення РІ і закріплення за ними каналів на mesh-станціях. Крім того, її декомпозиційне уявлення дозволило забезпечити відносну незалежність при формулюванні і наступному рішенні задач розподілу каналів по окремих зонах стійкого прийому, що прямо пов'язано з масштабністю одержуваних рішень щодо розподілу каналів у Wi-Fi-мережах стандарту IEEE 802.11.

2.2 Децентралізований метод розподілу каналів у Wi-Fi-мережах стандарту 802.11ax

У ході реалізації децентралізованого методу при вирішенні завдань розподілу каналів у mesh-мережі важливим є етап багаторівневого представлення як структури мережі, так і її функцій з точки зору їх розподілу між рівнями Wi-Fi-архітектури, що вводяться. При цьому необхідно дотримуватися основних принципів і постулатів які координовані і сумісність завдань різних рівнів Wi-Fi-архітектури [15].

У цьому зв'язку для децентралізованого рішення задачі розподілу каналів, розташовуючи моделлю (2.1)-(2.5) і (2.1)-(2.6), серед безлічі mesh-станцій для кожної з TR виділимо станцію координатор (TR-координатор), що відповідає за розрахунок вектора (2.2), а також призначимо координатор для mesh-мережі в цілому, завданням якого є координація рішень (2.2) з метою забезпечення виконання умов (2.4) і (2.6). Таким чином, нульовий рівень Wi-Fi-архітектури розподілу каналів у mesh-мережі утворюють самі mesh-станції, перший рівень-TR-координатори, а другий рівень – координатор мережі в цілому (рис. 2.2).

Головний координатор mesh-мережі являє собою mesh-станцію, на яку покладено функції координації на верхньому рівні і який пов'язаний логічно з усіма TR-координаторами, тобто територіально координатор може перебувати в будь-якій зоні стійкого прийому.

У відповідності з теорією багаторівневих архітектурних систем ключовою є задача розподілу за рівнями функцій, пов'язаних з мінімізацією виразу (2.7) при наявності умов-обмежень (2.1)-(2.6). Для цього цільову функцію (2.7) представимо в адитивній формі

$$F = \sum_{z=1}^{Z} \vec{f}_z^{\,t} \vec{x}_z, \tag{2.8}$$

де вектори $\vec{f}_z$ характеризують пріоритетність використання радіоінтерфейсів mesh-станцій z-й зони стійкого прийому. Ці вектори виходять в ході

декомпозиції вектора вагових коефіцієнтів $\vec{f}$ за аналогією з декомпозицією (2.1) і (2.2).

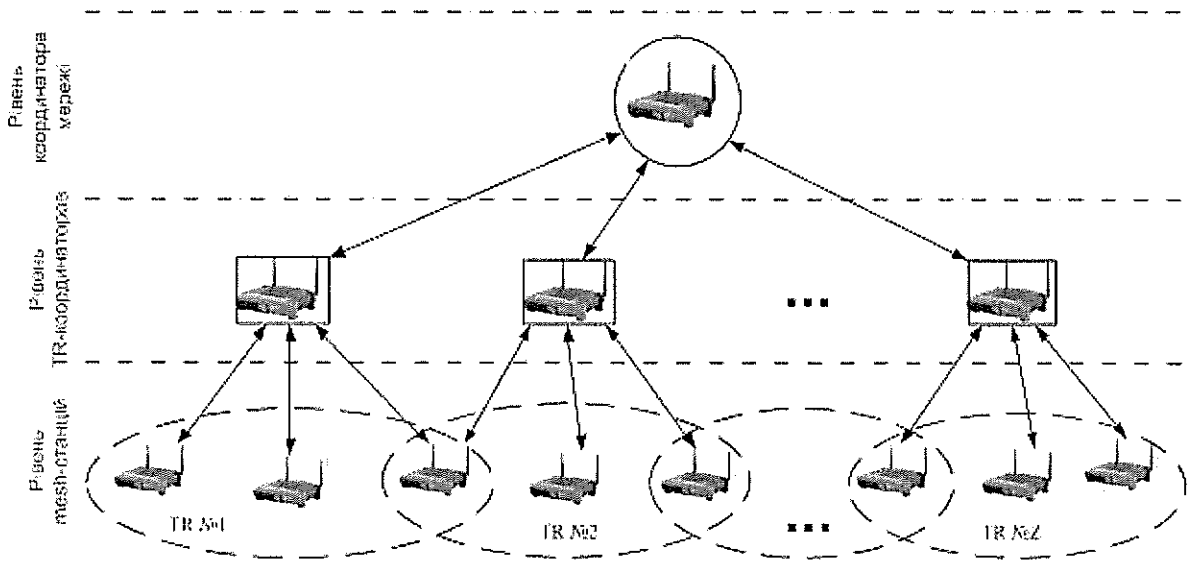


Рис. 2.2. Багаторівнева архітектура mesh-мережі

Оптимізаційна задача пов'язана з мінімізацією виразу (2.8) при наявності умов (2.1)-(2.5) і (2.1)-(2.6) є досить складним багатопараметричним завданням на умовний екстремум. З метою переходу від завдання на умовний екстремум до задачі на безумовний екстремум скористаємося методом множників Лагранжа. Тому з огляду на зміст умов (2.4) і (2.6), в ході мінімізації функції (2.7) перейдемо до двоїстої задачі по максимізації лагранжиана:

$$\min_{x} F = \max_{\lambda,\mu} L, \tag{2.9}$$

де

$$L = \sum_{z=1}^{Z} \vec{f}_z^t \vec{x}_z + \sum_{z=1}^{Z} \vec{\lambda}_z^t \left[\vec{x}_z'' - \sum_{\substack{y=1,\\ y\neq z}}^{Z} C_{zy} \vec{x}_y'' \right] +$$

$$+ \sum_{z=1}^{Z} \vec{\mu}_z^t \left[-E_z^t \vec{x}_z - \sum_{\substack{r=1,\\ r\neq z}}^{Z} E_r^t \vec{x}_r + N + K - 1 \right], \tag{2.10}$$

де $\vec{\lambda}$ і $\vec{\mu}$ – вектори множників Лагранжа.

Для вирішення сформульованої оптимізаційної задачі використовуємо принцип цільової координації, в рамках якого лагранжіан (2.10) з урахуванням тотожностей $\sum_{z=1}^{Z}\vec{\lambda}_z^t\sum_{\substack{y=1\\y\neq z}}^{Z}C_{zy}\vec{x}_y^{"}=\sum_{z=1}^{Z}\sum_{\substack{r=1\\r\neq z}}^{Z}\vec{\lambda}_z^tC_{zy}\vec{x}_y^{"}$ і $\sum_{z=1}^{Z}\vec{\mu}_z^t\sum_{\substack{r=1\\r\neq z}}^{Z}E_r^t\vec{x}_r=\sum_{z=1}^{Z}\sum_{\substack{r=1\\r\neq z}}^{Z}\vec{\mu}_z^tE_r^t\vec{x}_r$.

Представимо у вигляді

$$L=\sum_{z=1}^{Z}\vec{f}_z^t\vec{x}_z+\sum_{z=1}^{Z}\vec{\lambda}_z^t\vec{x}_z^{"}-\sum_{z=1}^{Z}\sum_{\substack{y=1,\\y\neq z}}^{Z}\vec{\lambda}_z^tC_{zy}\vec{x}_y^{"}+$$

$$+\sum_{z=1}^{Z}\vec{\mu}_z^t\left[-E_z^t\vec{x}_z+N+K-1\right]-\sum_{z=1}^{Z}\sum_{\substack{r=1,\\r\neq z}}^{Z}\vec{\mu}_z^tE_r^t\vec{x}_r. \qquad (2.11)$$

Тоді для фіксованих множників Лагранжа ($\vec{\lambda}^*$ і $\vec{\mu}^*$), обчислюваних на другому рівні Wi-Fi-архітектури (рис. 2.1), вираз (2.11) може бути представлено у формі [16]:

$$L=\sum_{z=1}^{Z}L_z, \qquad (2.12)$$

$$L_z=\vec{f}_z^t\vec{x}_z+\vec{\lambda}_z^{*t}\vec{x}_z^{"}-\sum_{\substack{y=1,\\y\neq z}}^{Z}\left[\vec{\lambda}_y^{*t}C_{yz}\right]\vec{x}_z^{"} \qquad (2.13)$$

Відзначимо, що кожна з складових L_z є функцією векторів стану, управління, взаємодії підмереж і векторів множників Лагранжа, які відносяться тільки до z-й зони стійкого прийому. Таким чином, відповідно до проведених перетворень задача оптимального розподілу каналів у багатоканальній mesh-мережі в цілому виявилася декомпозовано на Z підзадач, кожна з яких може вирішуватися незалежно один від одного. Рішення оптимізаційних задач (2.13) обумовлює нижній (декомпозиційний) рівень вирішення оптимізаційної задачі (2.7).

Особливістю запису (2.13), яка визначає завдання першого рівня Wi-Fi-архітектури для кожної TR (рис. 2.2), є те, що всі шукані параметри залежать тільки від індексу z, що дозволяє вирішувати ці завдання незалежно один від одного, що значно підвищує масштабованість одержуваних рішень.

Крім принципу цільової координації залежно від змісту завдань верхнього рівня можуть використовуватися також принцип прогнозування взаємодій і принцип оцінки взаємодій, а також їх всілякі модифікації.

Відповідно до принципу прогнозування взаємодій в якості координуючих змінних вже виступають вектори $\vec{\lambda}$, $\vec{\mu}$ і $\vec{x}_z''$, що дещо ускладнює роботу верхнього рівня координації, але розвантажує нижній рівень, тому що мінімізація (2.13) здійснюється лише за змінними. Принцип прогнозування взаємодій володіє значними перевагами тільки у випадку можливості аналітичного рішення задачі верхнього рівня за розрахунком $\vec{\lambda}$, $\vec{\mu}$ і $\vec{x}_z''$ при фіксованих значеннях векторної змінної $\vec{x}_z'$, розрахованої на нижньому рівні управління. Однак наявність обмежень (2.4) і (2.5) практично виключає отримання аналітичного рішення задачі верхнього рівня.

В рамках принципу оцінки взаємодій на відміну від принципу прогнозування взаємодій на верхньому рівні здійснюється лише визначення кордонів для варіювання чисельних значень вектора $\vec{x}_z''$ в ході рішення оптимізаційної задачі на нижньому архітектурному рівні (2.13) по змінним $\vec{x}_z'$ и $\vec{x}_z''$.

Вибір на роботі принципу цільової координації обумовлений низькою обчислювальною завантаженістю координатора верхнього (координуючого) рівня, за допомогою якого здійснюється лише визначення оптимальних значень $\vec{\lambda}$ і $\vec{\mu}$ з використанням градієнтних процедур для досягнення мінімуму

функціоналу (2.7), а досить трудомісткий розрахунок векторів $\vec{x}_z^{'}$ і $\vec{x}_z^{''}$ здійснюється на нижньому рівні в ході мінімізації виразу (2.13).

На другому рівні (рис. 2.2), основним завданням якого є координація рішень, отриманих на першому рівні з метою ідентичного управління mesh-станціями, які перебувають одночасно в різних TR, здійснюється модифікація вектора множників Лагранжа в ході виконання наступних градієнтних процедур [17]:

$$\vec{\lambda}_z(\alpha+1) = \vec{\lambda}_z(\alpha) + \nabla\vec{\lambda}_z, \tag{2.14}$$

$$\vec{\mu}_z(\alpha+1) = \vec{\mu}_z(\alpha) + \nabla\vec{\mu}_z, \tag{2.15}$$

де $\nabla\vec{\lambda}_z$ і $\nabla\vec{\mu}_z$ – градієнт функції, який розраховується, виходячи з одержуваних на верхньому рівні результатів рішення задач розподілу каналів у кожній конкретній z-й TR ($z \in Z$), т.е.

$$\nabla\vec{\lambda}_Z(x)\Big|_{x=x^*} = \vec{x}_z^{*''} - \sum_{\substack{r=1 \\ r\neq z}}^{Z} C_{zr}\cdot\vec{x}_z^{*''}, \tag{2.16}$$

$$\nabla\vec{\mu}_z(x)\Big|_{x=x^*} = -E_z^t\vec{x}_z^* - \sum_{\substack{r=1, \\ r\neq z}}^{Z} E_r^t\vec{x}_z^* + N + K - 1. \tag{2.17}$$

З урахуванням функціональної Wi-Fi-архітектури багатоканальної mesh-мережі обчислювальна структура Децентралізованогометоду розподілу каналів представлена на рис. 2.2.

Відповідно до розробленого методу координаторами першого рівня (TR-координаторами) здійснюється:

- Збір та обробка інформації про стан належить цій зоні стійкого прийому mesh-станцій. Інформація, що підлягає моніторингу, включає в себе наступні дані: тип використовуваної технології IEEE 802.11 a/b/g/n на mesh-станціях, число на станціях радіоінтерфейсів, завантаженість (активність) станцій і т.д.;

- Визначається порядок розподілу каналів між радіоінтерфейсом mesh-станцій в ввіреній зоні стійкого прийому шляхом максимізації відповідних лагранжіанов, представлених виразом (2.13), і розрахунку векторів $\vec{x}_z$ ($z \in Z$).

У результаті рішення задачі нижнього рівня кожна зона стійкого прийому розбивається на зв'язкові домени колізій (кількість яких не перевищує кількості каналів, що не перекриваються в підтримувальній технології). З метою забезпечення ідентичного управління та зв'язності доменів колізій рішення, отримані на цьому рівні, підлягають координації з боку координатора мережі в цілому. Основним завданням на верхньому рівні є координація рішень, отриманих на першому рівні з метою забезпечення зв'язності мережі та ідентичного управління mesh-станціями, які перебувають одночасно в різних зонах стійкого прийому.

В результаті координатором мережі на основі результатів, отриманих координаторами окремих зон стійкого прийому, здійснюється модифікація вектора множників Лагранжа в ході виконання градієнтних процедур, представлених виразами (2.14)-(2.15).

Застосування даного методу дозволяє оптимізувати розподіл каналів у багатоканальній mesh-мережі, а за рахунок реалізації децентралізованого управління – вдається домогтися високої масштабованості одержуваних рішень, істотно знижується розмірність завдань нижнього рівня з пропорційним зниженням обсягів циркулюючої в мережі службової інформації про її стан, підвищується оперативність у вирішенні завдань розподілу каналів без істотного зниження якості одержуваних рішень.

Як приклад продемонструємо роботу запропонованого методу в рамках наступних вихідних даних (рис. 2.3).

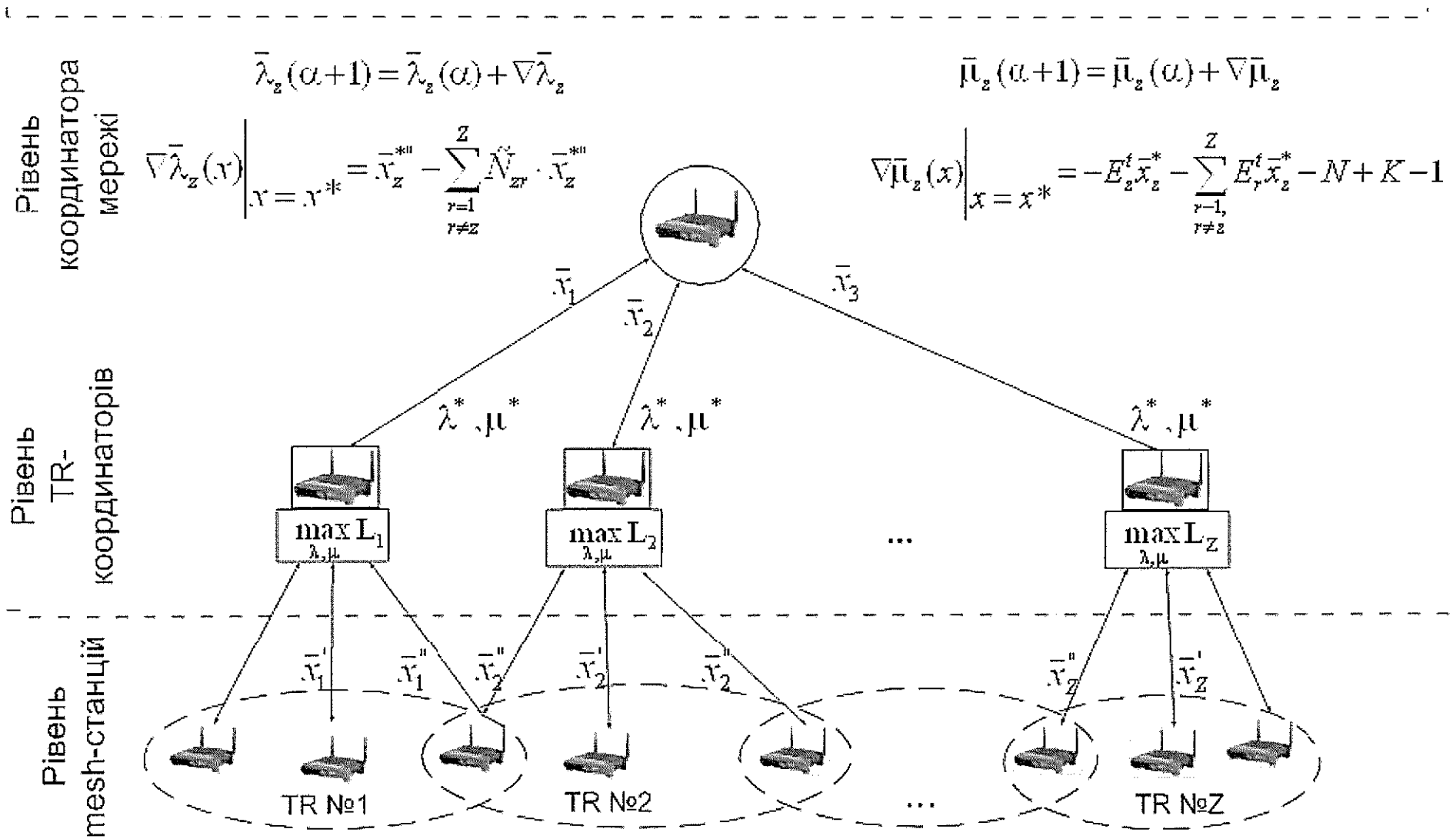


Рис. 2.2. Обчислювальна структура Децентралізованогометоду розподілу каналів

У результаті використання в mesh-мережі ірархічно-координаційного методу розподілу каналів (рис. 2.4) в кожній зоні стійкого прийому виділялася станція-TR координатор. В даному випадку TR координаторами виступали станції № 2, № 9, № 12. Крім того, в якості головного координатора виділена станція № 1, що належить першій зоні стійкого прийому. Станції-координатори відповідають за розбиття зони стійкого прийому на зв'язкові домени колізій, а головний координатор – за ідентичне управління станціями, що знаходяться одночасно в різних TR [18].

Таким чином, з метою підвищення масштабованості отриманих рішень запропонована Декомпозиційна модель і Децентралізований метод розподілу каналів у Wi-Fi-мережах. При використанні запропонованих у розділі рішень значно скорочувалася розмірність завдання першого рівня без істотного навантаження коштів другого рівня. З технологічної точки зору це сприяло мінімізації інерційності управління та обсягів інформації про стан mesh-мережі, яку необхідно постійно оновлювати в ході оптимізації розподілу каналів, а в підсумку свідчило про підвищення масштабованості отриманих у роботі рішень.

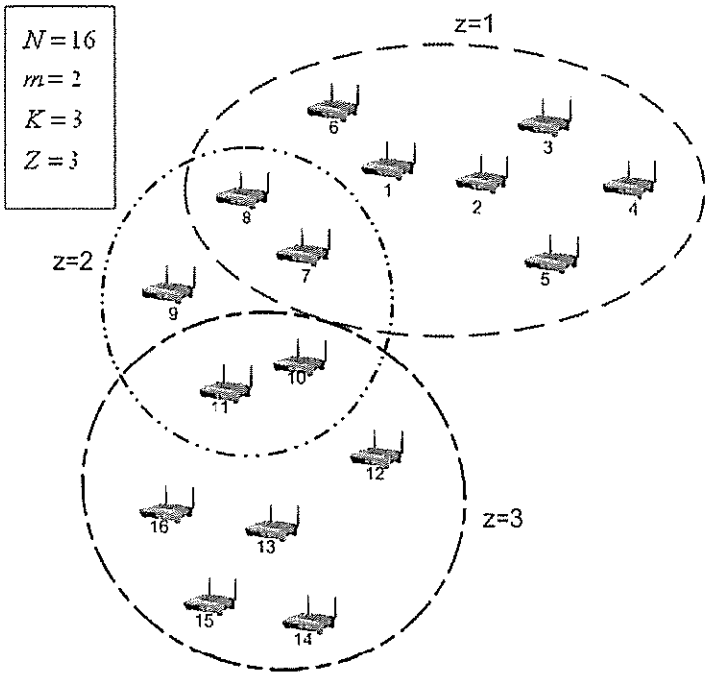


Рис. 2.3. Приклад mesh-мережі із зазначенням зон стійкого прийому

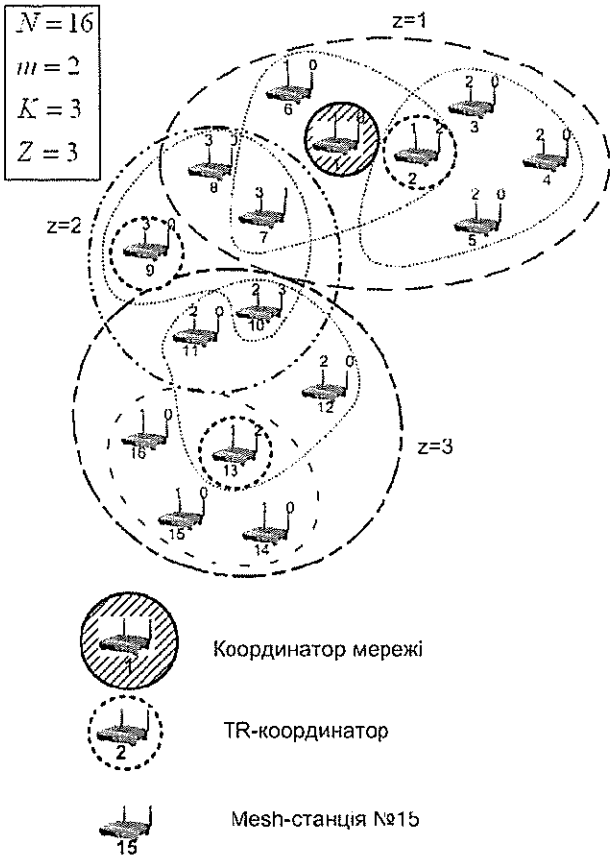


Рис. 2.4. Приклад mesh-мережі із зазначенням зон стійкого прийому

Аналізуючи результати моделювання багатоканальної mesh-мережі типу Multi- Radio Multi-Channel варто відзначити, що при дослідженні функціонування багатоканальної mesh-мережі на базі розробленої моделі розподілу каналів перевантаження сталося при інтенсивності 3 Мбіт/с, що на 20-25% вище, ніж при дослідженні відомого централізованого методу розподілу каналів МЦК. Також при интенсивностях трафіку до 2 Мбіт/с спостерігалася стабільність показників затримки і джиттера, що свідчить про збільшення продуктивності мережі на базі запропонованої моделі розподілу каналів. Таким чином, при дослідженні різних типів mesh-мереж за допомогою імітаційного моделювання на базі симулятора ns3 встановлено, що використання багатоканальних mesh-мереж типу Multi-Radio Multi-Channel на базі розробленої моделі призводить до значного підвищення продуктивності мережі відносно інших типів mesh-мереж виходячи з показників якості обслуговування.

Результати порівняльного аналізу різних типів mesh-мереж для наочності представлені на одному графіку (рис. 2.13), який відображає залежність середньої затримки для різних значень інтенсивності потоку [19].

З рис. 2.13 видно, що при моделюванні різних типів mesh-мереж явну перевагу за показниками затримки має багатоканальна mesh-мережа типу MR MC, в основу якої покладена розроблена модель розподілу каналів, що підтверджує функціональність мережі відносно інших відомих методів розподілу і підвищує продуктивність мережі в середньому в 1,7-2 рази.

Для наочного порівняння різних типів mesh-мереж за показниками джитера на рис.2.14 представлені відповідно його залежності від інтенсивності трафіку.

Результати аналізу свідчать про те, що використання запропонованої моделі дозволяє підвищити продуктивність мережі в середньому в 1.5-1.7 разів порівняно з мережею типу DR MC WMN, і в 2.4-2.7 рази в порівнянні з рішенням на базі SR MC WMN. Для фіксованої продуктивності мережі використання розробленої моделі призвело до поліпшення середньої затримки в 1.6-2.3 рази, а джиттер, а в 1.7-2.5 рази в порівнянні з методом МЦК.

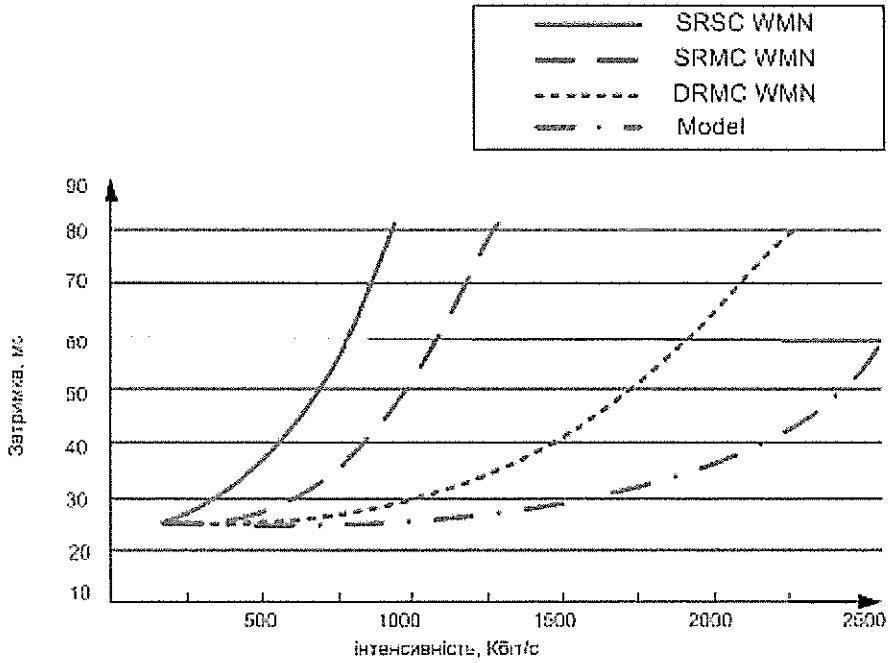


Рис. 2.13. Порівняння показників затримки від інтенсивності трафіку для різних типів mesh-мереж

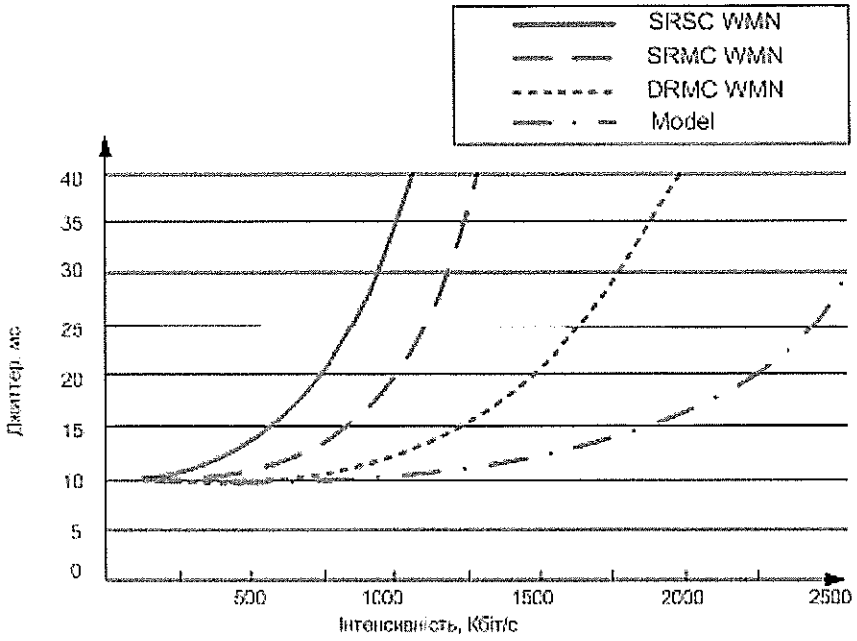


Рис. 2.14. Залежність величини джиттера від інтенсивності трафіку для різних типів mesh-мереж

Результати порівняльного аналізу відомих методів розподілу каналів із запропонованою моделлю.

У роботі досліджено вплив на продуктивність mesh-мережі таких факторів, як збільшення кількості mesh-станцій (N) в мережі, нерівномірності їх територіальної віддаленості (H) і активності (B).

Результати порівняльного аналізу продуктивності (P) багатоканальної mesh-мережі на основі використання відомих методів і запропонованої моделі залежно від кількості mesh-станцій (N) представлені на рис. 2.15.

На рис. 2.15 показано, що при збільшенні числа mesh-станцій в багатоканальній mesh-мережі її продуктивність знижується. При цьому при використанні методів МКК і МЦК продуктивність зменшується в середньому на 15 % при збільшенні мережі до 20 mesh-станцій і на 17 % при збільшенні мережі до 40 станцій щодо продуктивності багатоканальної mesh-мережі при використанні розробленої моделі. Причому метод розподілу каналів МКК при збільшенні числа mesh-станцій у мережі покращує продуктивність мережі щодо централізованого методу МЦК в середньому на 18-20% завдяки використанню

множинних шляхів, а за рахунок зменшення числа mesh-станцій, яким необхідно робити широкомовні розсилання на всі свої радіоінтерфейси.

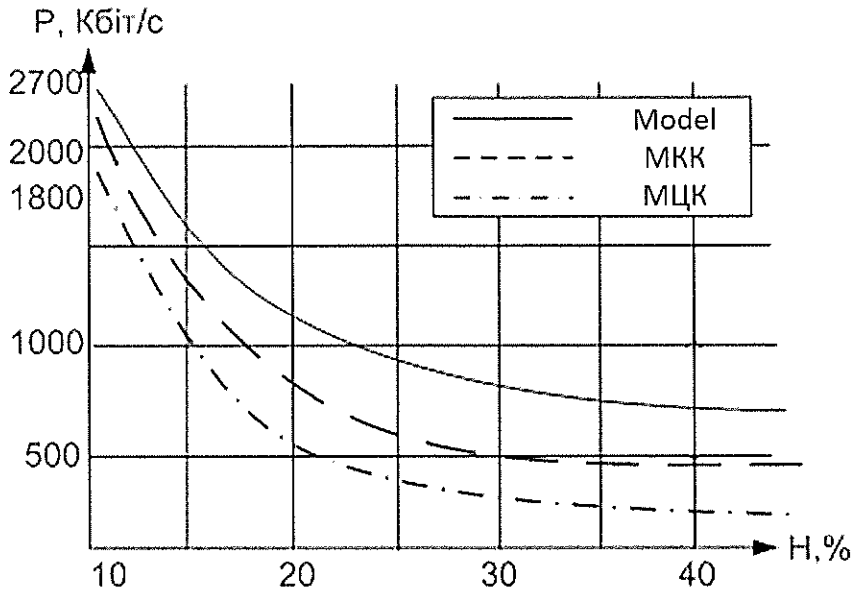
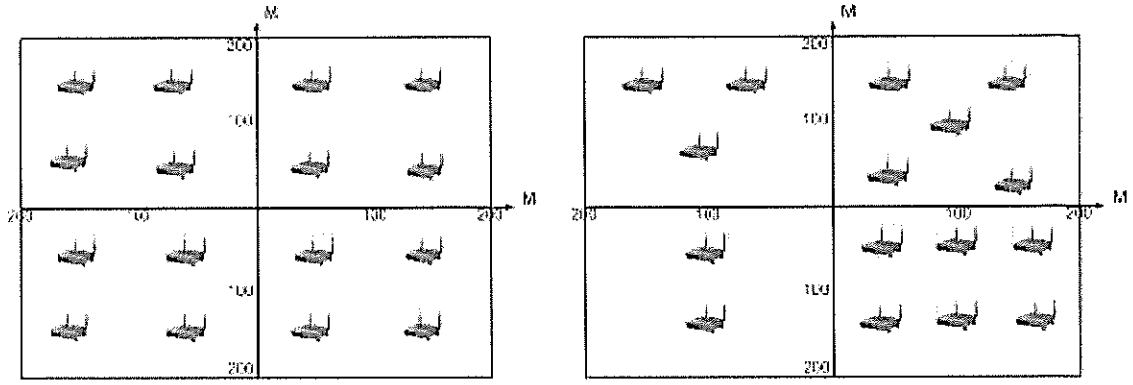


Рис. 2.15. Залежність продуктивності (P) багатоканальної mesh-мережі від кількості mesh-станцій (N)

Важливо відзначити, продуктивність мережі, що функціонує на основі запропонованої моделі (2.1) - (2.13), із збільшенням числа mesh-станцій у мережі падає повільніше щодо цих двох методів завдяки тому, що запропонована модель передбачає балансування числа mesh-станцій по доменах колізій та злагоджено вирішує завдання виділення радіоінтерфейсів на mesh-станціях, закріплення за ними каналів при розподілі каналів у mesh-мережі в цілому, запобігаючи виникненню ефекту «прихованої» станції [20].

У ході досліджень також відслідковувався характер змін продуктивності (P) мережі в залежності від нерівномірності територіальної віддаленості mesh-станцій. Причому територіальна віддаленість станцій вважалася рівномірною, якщо кількість станцій на вибраних ділянках однакової площі (наприклад, 100м × 100м або 200м × 200м) була однаковою (рис. 2.16, а).



а) б)

Рис. 2.16. Приклади рівномірної і нерівномірної територіальної віддаленості mesh-станцій

Нерівномірність оцінювалася як взяте в процентному відношенні відхилення від рівномірної територіальної віддаленості.

$$H = \frac{1}{K}\sum_{i=1}^{K}\frac{\left|N_i - \frac{N}{K}\right|}{N^*}\cdot 100\%, \qquad (2.1)$$

де N^* – нормована кількість станцій на ділянці;

N -кількість станції в мережі;

K - кількість дільниць фіксованої площі в мережі;

N_i – фактична кількість станцій на дільниці.

Наприклад, у випадку, коли N=16 і кількість ділянок дорівнює чотирьом, то $N^* = 4$. Таким чином, виходячи з виразу (2.1), нерівномірність територіальної віддаленості для мережі (рис. 2.19, а) дорівнює 0%, а для мережі (рис. 2.16, б) $H = 37{,}5\%$.

Зростання нерівномірності територіальної віддаленості приводив, в загальному випадку (рис. 2.17), до зниження продуктивності mesh-мережі. При цьому застосування запропонованої в другому розділі моделі, завдяки використанню умови балансування (2.10), призвело до виграшу за обраним показником ефективності щодо методів МКК і МЦК.

У результаті порівняльного аналізу методів МКК, МЦК та запропонованої в другому розділі моделі розподілу каналів у багатоканальній mesh-мережі, можна зробити висновок, що використання методу МКК в порівнянні з централізованим методом МЦК підвищує продуктивність mesh-мережі в середньому на 13-15 %, а використання розробленої моделі дозволяє підвищити продуктивність на 16-20 % щодо відомих досліджуваних методів розподілу каналів [21].

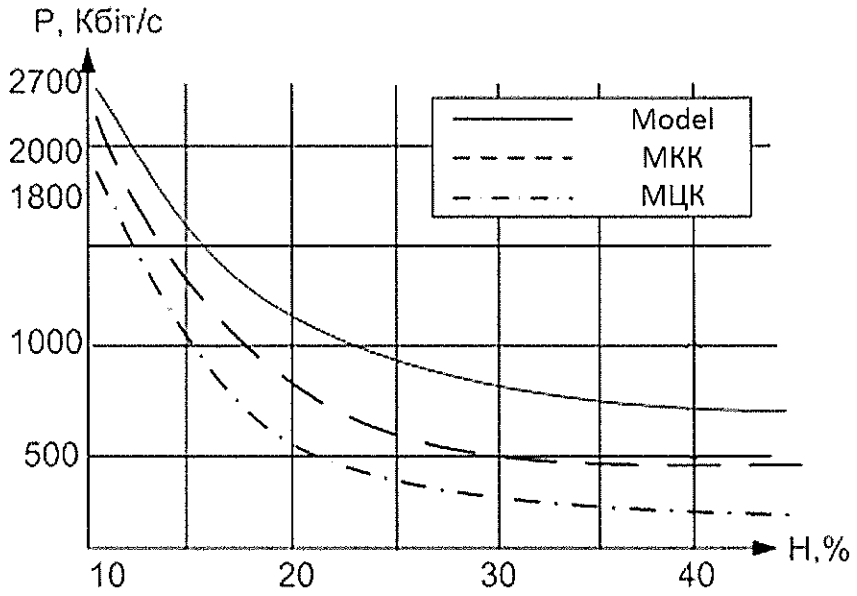


Рис. 2.17. Залежність продуктивності мережі (P) від нерівномірності територіальної віддаленості станцій (H)

Результати порівняльного аналізу продуктивності (P) mesh-мережі, що функціонує з використанням методів розподіл каналів МКК, МЦК та запропонованої моделі, з урахуванням нерівномірності активності mesh-станцій представлений на рис. 2.18. При цьому нерівномірність активності (B) розраховувалася так само, як взяте в процентному відношенні відхилення від середнього по мережі значення активності mesh-станцій.

Як показано на рис. 2.18, нерівномірність активності mesh-станцій, так само, як і нерівномірність їх територіальної віддаленості, негативно позначається на загальній продуктивності mesh-мережі. Однак завдяки використанню умов балансування (2.11)-(2.12) застосування запропонованої в другому розділі моделі

розподілу каналів дозволяє дещо зменшити втрати в продуктивності щодо відомих методів: у середньому в 1.3-1.7 рази в порівнянні з методом МКК, в 1.3-1.8 рази порівняно з методом МЦК (рис. 2.18).

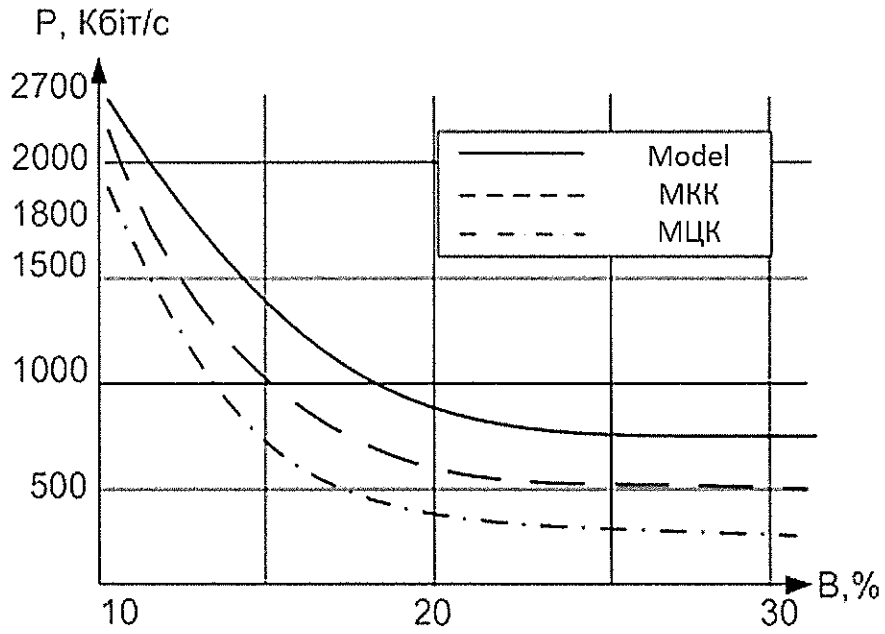


Рис. 2.18. Залежність продуктивності мережі (P) від нерівномірності активності mesh-станцій (B)

Згідно з отриманими результатами порівняльного аналізу, можна зробити висновки, що практична реалізація запропонованої в другому розділі моделі розподілу каналів дозволяє підвищити продуктивність mesh-мережі:

- В середньому в 1.1-1.6 рази в порівнянні з методом МКК, в 1.2-1.7 рази в порівнянні з методом МЦК (рис. 2.16) при збільшенні кількості станцій;

- В середньому в 1.4-1.9 рази в порівнянні з методом МКК, в 1.4-2 рази порівняно з методом МЦК (рис. 2.17) при зростанні територіальної віддаленості mesh-станцій;

- В середньому в 1.3-1.7 рази в порівнянні з методом МКК, в 1.3-1.8 рази в порівнянні з методом МЦК (рис. 2.18) при варіюванні активності mesh-станцій.

3 ПРОЕКТУВАННЯ БЕЗПРОВОДОВОЇ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО МЕТОДУ РОЗПОДІЛУ КАНАЛІВ У MESH-МЕРЕЖАХ

3.1 Проектування безпроводової мережі на базі стандарту 802.11n

Візьмемо за початкову схему підключення безпроводової мережі WLAN офісних приміщень, площа яких становить 220 м^2, на основі стандарту IEEE 802.11n. Стандартна точка доступу забезпечує надійний прийом на відстані 30 м за відсутності перешкод. Мені потрібно кілька точок доступу. Їх розташування залежить від планування і товщини стін [22].

Стандарт 802.11n здатний забезпечити швидкість передачі даних до 300 Мбіт / с. Цей стандарт широко відомий і підтримується багатьма мобільними пристроями. Існує чудова практика роботи з мережами, що працюють за цим стандартом, що дозволить уникнути помилок у проектуванні та експлуатації. Приймаючи рішення про розгортання WLAN, враховуйте:

- особливості протоколу 802.11n;
- поведінка мобільних вузлів;
- питання захисту:
- якість зв'язку в цілому та для різних типів програм зокрема (QoS):
- послуги та додатки, якими будуть користуватися клієнти.

Розробка структурної схеми організації мережі. Мережа буде управлятися сервером за допомогою комутатора. Комутатор і точки доступу поширюють сигнал сферично. Планується встановити 2 точки доступу і комутатор по всій площі офісної будівлі. Схема безпроводової мережі представлена на рис. 3.1.

Авторизація і доступ користувачів. Для авторизації в мережі передбачається використовувати веб-авторизацію на основі Captive Portal, а також ключ WPA / PSK2 для доступу до безпроводової мережі. Доступ до мережі на основі ключів захистить мережу від сторонніх розробників, а веб-авторизація

однозначно ідентифікує кожного клієнта, який підключається. Відвідувачі офісного центру можуть видавати тимчасово сформовані паролі або використовувати той самий стандарт.

Перевагою веб-авторизації перед усіма іншими є її доступність на великій кількості пристроїв, будь то ноутбуки або смартфони.

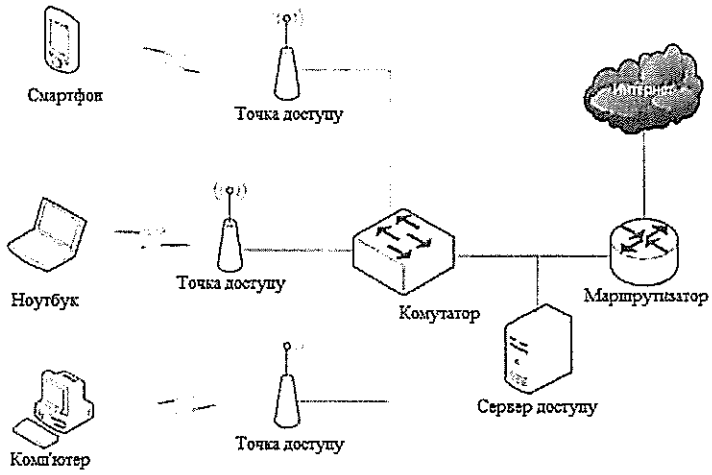


Рис. 3.1. Схема безпроводової мережі

Кожному безпроводовогому клієнту, який підключений через DHCP, присвоюється унікальна IP-адреса з так званою. "Сіра" (непублічна) підмережа, маска підмережі, шлюз і DNS-сервери. Таким чином, вся Безпроводова мережа прокладена. У той же час користувачам не потрібно передавати будь-які додаткові маршрути - буде достатньо маршруту за замовчуванням, який покаже шлях до сервера доступу, який також виконує функції безпроводового мережевого маршрутизатора. Цей маршрутизатор буде перенаправляти трафік у потрібні пункти призначення - місцеві ресурси, ресурси на інших комп'ютерах в офісній мережі, IP-телефонія або Інтернет.

Електроживлення точок доступу. Також при будівництві мереж зв'язку великого розміру надійність і керованість мережі набуває більшого значення, ніж вартість її будівництва. Тому велике значення набуває надійне забезпечення електроживлення пристроїв. Комутатор і сервер доступу повинні розташовуватися в спеціально обладнаній серверній кімнаті, де досить легко

забезпечити гарантоване резервоване електроживлення. Надійне електроживлення точок доступу забезпечити складніше, тому що контролювати систему електроживлення всієї будівлі системним адміністраторам в даний час не під силу. Прокладати окрему електричну мережу для харчування точок доступу найчастіше недоцільно з економічних і організаційних причин.

У даній ситуації можна використовувати централізоване живлення точок доступу за технологією PoE (Power over Ethernet). Ця технологія дозволяє подавати електроживлення по крученій парі на відстань до 350м. Для забезпечення живлення використовуються спеціальні комутатори з PoE-портами. Для подачі електроживлення і для передачі даних можна використовувати один провід UTP Cat5e.

Точки доступу повинні бути з'єднані з комутатором кручений парою UTP 5e. Живлення має забезпечуватися за вільними парами цих же кабелів за технологією PoE. Таким чином, комутатор буде забезпечувати живлення точок доступу. Відстань від комутатора до будь-якої з точок доступу не перевищуватиме 100 м, тому проблем з використанням UTP кабелю не виникне.

Кабель повинен прокладатися в спеціальних кабель-каналах, закріплених на стінах всередині будівлі. Частину кабелів також можна провести над фальш-стелею.

Опис і характеристика обраного обладнання. Основним елементом безпроводової мережі є точки доступу, тому в першу чергу необхідно зробити вибір цього безпроводового обладнання. В технічному завданні до точок доступу пред'явлені наступні вимоги [23]:

- полоса робочих частот в межах: 2400 - 2483,5 МГц;
- швидкість доступу, яка підтримується: не менше, ніж 100 Мб/с;
- устаткування повинно задовольняти вимоги одного із стандартів IEEE 802.11 (a, b, g, n);
- робоча температура: от 0 до 40°С;
- робоча вологість: от 10 до 90%;

Наведеним вимогам до точок доступу задовольняє D-Link AirPremier N DAP-2690.

Двохдіапазонна точка доступу D-Link AirPremier N DAP-2690 з підтримкою PoE призначена для побудови безпроводових локальних мереж підприємств (WLAN). Вона може виконувати функції базової станції для підключення до безпроводової мережі пристроїв, що працюють за стандартами 802.11a, 802.11b, 802.11g і 802.11n. Розроблена для мереж бізнес-класу, ту саму точку доступу пропонує мережевим адміністраторам набір функцій для побудови захищених і керованих безпроводових мереж з підтримкою роботи в двох діапазонах частот.

DAP-2690 дозволяє створити керовану і надійну дводіапазонну безпроводову мережу. Чотири знімні дводіапазонні антени забезпечують оптимальний радіус дії при роботі в двох частотних діапазонах 2,4 ГГц (стандарти 802.1g і 802.1n) і 5ГГц (802.1a і 802.11n). Точка доступу DAP-2690 поміщена в металевий корпус з вентиляцією відповідно до норм пожежної безпеки. Дана високошвидкісна точка доступу підтримує стандарт 802.3af Power over Ethernet (PoE), що дозволяє встановлювати цей пристрій навіть в тих місцях, де розетки живлення недоступні.

DAP-2690 забезпечує безпроводове з'єднання на швидкості до 300Мбіт / с в обох діапазонах (2,4 ГГц і 5ГГц). Підтримка функції Wi-Fi Multimedia TM (WMM) QualityofService робить точку доступу ідеальним рішенням для передачі аудіо, відео і голосових додатків. Функція QoS дозволяє автоматично пріоритезувати трафік відповідно до рівня інтерактивних потоків, таких як ігри або VoIP. Функція QoS також надає опцію меню, що випадає для вибору правил пріоритету користувача. Крім цього, DAP-2690 підтримує функцію балансування навантаження, забезпечуючи максимальну продуктивність. Вид DAP-2690 представлений на Рис. 3.3.

Для забезпечення комплексного захисту мережі, DAP-2690 підтримує останні технології захисту безпроводових мереж, використовуючи обидві версії шифрування даних Personal і Enterprise стандартів WPA і WPA 2 (802.11i) з підтримкою сервера RADIUS, що дозволяє користувачам створювати власні облікові записи. Крім того, точка доступу підтримує фільтрацію MAC-адрес,

сегментацію безпроводових LAN, функцію заборони широкомовлення SSID, виявлення несанкціонованих підключень і роботу безпроводової мережі в режимі широкомовлення за розкладом.

DAP-2690 підтримують до 8 SSID для кожного діапазону, що дозволяє використовувати кілька VLAN для здійснення сегментації мережі. Також DAP-2690 підтримує механізм ізоляції безпроводового клієнта, що дозволяє обмежити пряме з'єднання «клієнт-клієнт». Крім цього, DAP-2690 підтримує функцію Network Access Protection (NAP) в Windows Server 2008. NAP дозволяє мережевим адміністраторам визначити кілька рівнів доступу до мережі на основі індивідуальних вимог клієнта. Якщо клієнт ідентифікований поза зоною доступу, він буде автоматично повернений на дозволений рівень мережевого доступу [24].

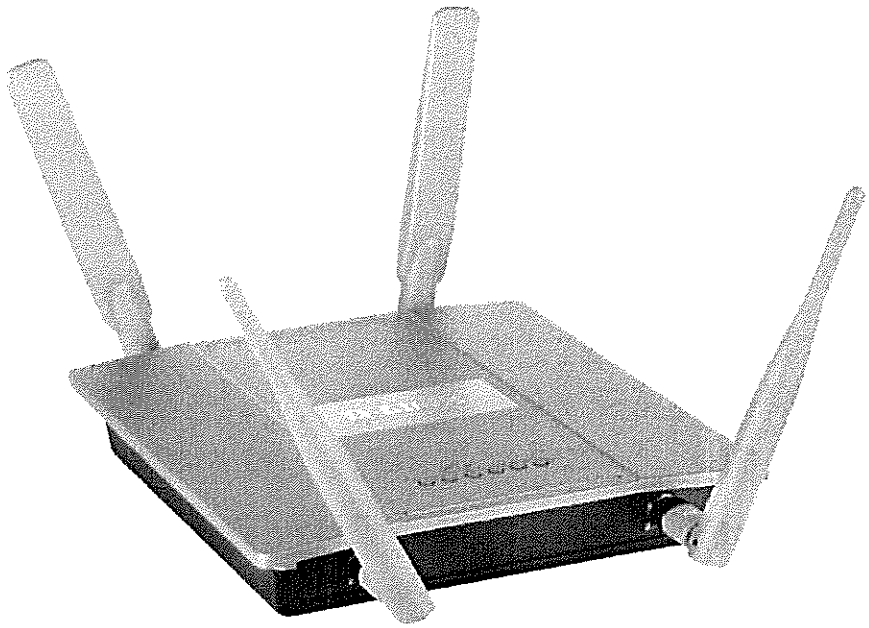


Рис. 3.2. Безпроводова точка доступу DAP-2690

Для оптимізації продуктивності мережі DAP-2690 може бути налаштована в будь-якому з режимів роботи: точка доступу, WDS з точкою доступу, WDS / мост (No AP Broadcasting) і безпроводової клієнт. Завдяки підтримці WDS мережеві адміністратори можуть легко встановити кілька точок доступу DAP-2690 і налаштувати їх в режимі моста, забезпечуючи при цьому доступ до мережі окремим клієнтам. У точці доступу DAP-2690 також реалізовані розширені

функції, такі як балансування навантаження (для оптимальної передачі трафіку в мережі) і резервування (для безвідмовної роботи безпроводового з'єднання). Крім цього, підтримка Spanning Tree Protocol сприяє більш ефективній передачі даних, дозволяючи уникнути широкомовного шторму в режимі WDS.

Точка доступу підтримує безліч опцій управління, включаючи Web-інтерфейс (HTTP), Secure Socket Later (SSL, забезпечує безпечне з'єднання з Інтернет), Secure Shell (SSH, для забезпечення безпечного каналу між комп'ютерами на відстані) і Telnet (двонаправлений, 8-бітний байт-орієнтований мережевий протокол). Для розширеного мережевого управління можна використовувати D-Link Central Wi-Fi Manager (для H / w Bx) або D-View module SNMPv3 для настройки та управління безліччю точок доступу з одного комп'ютера. Крім стандартних опцій управління, D-Link Central Wi-Fi Manager і D-View дозволяють мережевим адміністраторам автоматично здійснювати перевірку обладнання без втрати часу і ресурсів.

Масив точок доступу забезпечує управління декількома мережевими пристроями в одній групі для легкого налаштування і розгортання мережі. Крім цього, DAP-2690 підтримує функцію роботи безпроводової мережі за розкладом, що забезпечує збереження електроенергії.

Завдяки підтримці двох частотних діапазонів, PoE, корпусу з вентиляцією, розширених функцій управління, поліпшеним параметрів і налаштувань безпеки, DAP-2690 є ідеальним рішенням по організації безпроводової мережі для підприємств сектора SMB.

PoE-комутатор. Для живлення і агрегації точок доступу можна використовувати PoE комутатор D-Link DWS-4026.

Гігабітний комутатор D-Link DWS-3024L для управління безпроводовими точками доступу рівня 2+ призначений для розгортання безпроводової мережі для бізнесу. Завдяки цьому пристрою можна створювати уніфіковані, масштабовані, високопродуктивні, безпечні і керовані дротові/безпроводові комутовані локальні мережі. Маючи в своєму розпорядженні порти GigabitEthernet, слоти для установки додаткових модулів 10GE1, підтримку технології PoweroverEthernet і

можливість підключення резервних джерел живлення, комутатор забезпечує підприємствам простий перехід до безпроводових мереж стандарту 802.11n, швидке підключення безпроводових пристроїв незалежно від їхнього матеріального становища і централізоване управління політиками безпеки. DWS-3024L представлений на рис. 3.3 [25].

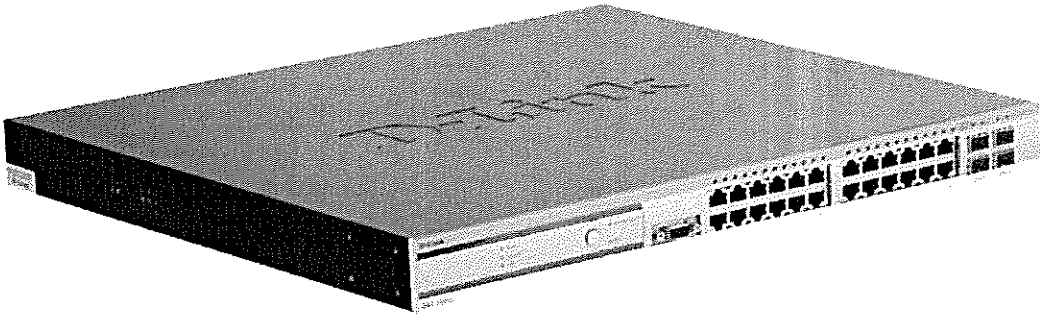


Рис. 3.3. Безпроводовий комутатор DWS-3024L

Гігабітний комутатор DWS-3024L - це кореневий пристрій, який дозволяє управляти безпекою, пропускною здатністю та підтримувати роботу всієї безпроводової мережі. Крім того, відстежуйте користувачів та керуйте їх автентифікацією під час роумінгу, комутатор може встановлювати та контролювати всі параметри безпроводових точок доступу, включаючи радіочастотні канали, управління живленням, безпроводову сегментацію трафіку, роумінг, балансування витрат, виявлення нереалізованих людей. Розроблений для легкого розгортання мережі, комутатор підтримує від 24 до 48 точок безпроводового доступу, які можуть бути підключені до його портів за допомогою сучасного або опосередкованого комутатора локальної мережі. Кожен порт комутатора підтримується технологією 802.3af PoE, яка забезпечує підключення цього доступу, розташовану в місцях, де розетки відсутні. Гігабітні порти є виправданою інвестицією завдяки подальшому переходу на безпроводову мережу 802.11n. Переключіть регіональні 24 портали 10/100 / 1000BASE-T та 4 комбіновані портали SFP. До кожного порту 10/100 / 1000BASE-T можна підключити безпроводову точку доступу або управління дротовою мережею,

наприклад сервер, мережеве обладнання, сховище та інший комутатор. Комбіновані порти SFP використовують гнучке з'єднання для оптичних параметрів, тоді як додаткові модулі 10 GE1 дозволяють створювати вільні від "вузьких місць" з'єднання між комутаторами або підключення до високошвидкісної оптичної реєстрації.

Для мереж малого та середнього бізнесу (SMB) потрібен лише один комутатор, який підтримує безпроводове управління точками доступу для управління кількома точками доступу або використання в змішаному провіднику / безпроводовій локальній мережі. Збільшивши кількість доступу до системи, доступ до централізованої системи управління, ви можете об'єднати до 4 комунікаторів. Завдяки простому розширенню, підтримці гігабітних швидкостей для підключення високошвидкісних точок доступу та маршрутизації рівня 3 для мережевого роумінгу, DWS-3024L має архітектуру, яка уніфікує та ініціює пошук конфігурації безпроводової мережі, забезпечуючи попередній перехід до майбутніх технологій .

Для полегшення роботи IT-персоналу комутатор вибирає безкоштовні або найменш використовувані радіочастотні канали для кожної безпроводової точки доступу, щоб зменшити перешкоди від інших точок доступу або радіочастотних пристроїв. Для кожної точки доступу перемикач встановлює вихідну потужність передавача, що забезпечує стабільний прийом радіосигналів безпроводовим клієнтам і одночасно мінімальні перешкоди радіочастотним сигналам інших пристроїв. Щоразу, коли ви додаєте нові точки доступу та вилучаєте їх із комутаційної мережі, він автоматично знаходить радіочастотні канали та вихідну потужність передавача всіх безпроводових точок доступу. Ви можете встановити час або часовий інтервал для виконання автоматичних налаштувань, що мінімізує необхідність виконувати пошук вручну.

Комутатор забезпечує дві функції для збільшення відсталості безпроводової мережі, а саме так званий процес "самозв'язку" та функцію збалансування використання між точками доступу. Для запобігання збою в зоні покриття через збій точки доступу (наприклад, через відключення живлення), комутатор

автоматично збільшує вихідну потужність передавача відповідних точок доступу, щоб зменшити їх зону покриття. Щоб забезпечити постійне підключення існуючих клієнтів, комутатор балансує витрати між точками доступу, коли мережевий трафік досягає певного порогу. У той час, коли комутатор відключає підключення нових клієнтів до точок доступу, щоб зменшити перевантаження пропускної здатності.

Завдяки централізованій платформі управління процес обслуговування та налаштування мереж стає більш ефективним. Коли ви запускаєте Інтернет-браузер на будь-якому ПК, підключеному до мережі, і набираєте IP-адресу керованого комунікатора, користувачі можуть переглянути карту топології та визначити місце розташування цього доступу та зовнішнього комунікатора. Карта використовує піктограми доступу, за якими ви можете натиснути, щоб вибрати точку доступу, і відображає кольори, щоб визначити різні радіочастотні канали, які використовують точки доступу. Якщо точку доступу відхилено, користувачі можуть легко визначити її розташування на карті та замінити її іншою з подібними параметрами [26].

Завдяки централізованій політиці радіочастот, автоматичному вибору найменшого використовуваного каналу та збалансуванню завантажень цього доступу, DWS-3024L може керувати пропускною здатністю безпроводової мережі для оптимізації трафіку WLAN.

Комутатор підтримує централізовану базу даних, отримуючи доступ до безпроводових користувачів до такої інформації, як MAC-адреси та ключі автентифікації. У мережі з кількома комунікаторами ця інформація відображається в інформаційній мережі між ними. Коли користувачі в офісі змінюються, ви можете підключитися до точки доступу за допомогою безпроводового обладнання. Постійно контролюючи точку доступу, комутатор може встановити роумінг між точками доступу для цих користувачів, не вимагаючи переінсталяції ключів автентифікації. Швидкий роумінг здійснюється без відключення, забезпечуючи безпечне підключення робочих станцій для

мобільних додатків, таких як Безпроводова IP-телефонія та безпроводове підключення PDA.

Більшість існуючих контролерів локальної мережі виконують централізовану обробку трафіку, яка іноді використовує невиправдану затримку. Перемикачі DWS-3024L надають користувачам додаткові функції. Залежно від програми безпроводового зв'язку, безпроводовий трафік може генеруватися назад до комутатора, забезпечуючи більший рівень безпеки або перероблений локально до точок доступу для оптимальної роботи.

Кожен клієнт, який підключається до безпроводової мережі, проходить процес суворої автентифікації, що забезпечує максимальний захист. Незалежно від того, є клієнт звичайним користувачем, гостем або просто доступним мережевим відділом, DWS-3024L захищає мережеву інфраструктуру широким спектром функцій безпеки, включаючи: WEP-шифрування даних, WPA / WPA2, аутентифікацію користувача 802.1x та стандарт 802.11 і безпека, адаптивний портал та автентифікація MAC-адрес.

Перемикач вибору для ідентифікації та виявлення несанкціонованих точок доступу для запобігання незаконному проникненню у внутрішню мережу. DWS-3024L надає такі послуги, як член віртуальної приватної групи (SSID), шифрування, автентифікація, розташування та статистика мережі. Під час роботи користувач зберігає авторизацію, оскільки комутатор DWS-3024L має спільну базу даних, що забезпечує безпечний доступ до відповідних ресурсних мереж. Поряд з перевіркою реєстраційних даних, він підключає користувачів до локальної бази даних, а користувачів також можна автентифікувати на зовнішньому сервері RADIUS. Якщо додатково дозволено гарантувати, що комутатор буде завантажений для одночасного підключення користувачів.

Окрім того, що функціонує як пристрій управління в безпроводовогому зв'язку, DWS-3024L може також використовуватися як стандартний дротовий комутатор рівня 2+ з розширеною функціональністю, включаючи підтримку маршрутизації пакетів, функцію захисту ACL, багаторівневу послугу (QoS), 802.1q трафік VLAN сегментація, IGMP Snooping для багатоадресних потоків IP,

резервне копіювання гігабітних каналів з розподілом навантаження. Крім того, комутатори підтримують 10-гігабітні оптичні порти. Якщо це дозволяє компанії інтегрувати безпроводову мережу з провідною мережевою інфраструктурою. Замінюючи існуючу інфраструктуру 10/100 Мбіт / с, ви можете використовувати DWS-3024L як систему управління безпроводовогою мережею, комутатор локальної мережі або універсальний пристрій, який виконує роль дротового комутатора та безпроводового контролера для підключення робочих столів до гігабітного з'єднання.

Сервер доступу. На ринку серверів доступу існують такі відомі рішення [27]:

- маршрутизатори з функціями серверів доступу від відомих вендорів (Cisco, Juniper, AlliedTelesin і т.д.);

- самостійно розроблені і налаштовані програмні шлюзи (спеціально налаштовані операційні системи, як правило на базі комп'ютерів x86 архітектури) на * nix (Linux, FreeBSD, OpenBSD і т.д.);

- готові програмні шлюзи на Unix-подібних операційних системах.

Серед останніх найбільш відомі і широко поширені:

- програмний шлюз на базі MikrotikRouterOS;

- програмний шлюз на базі IdecoSoftware.

IdecoSoftware в основному пропонує рішення для невеликих мереж, що поєднують одночасно білінг, веб-сервер, маршрутизатор і сервер доступу на одній фізичній машині.

Mikrotik є спеціалізованою складанням Linux, призначеної для вирішення задач маршрутизації та організації серверів доступу. Mikrotik дозволяє обробити трафік до 1 Гб / с, що важливо з урахуванням можливості розширення мережі і збільшення швидкостей доступу для клієнтів. Також ця операційна система має більший функціонал ніж у більшості апаратних маршрутизаторів. До недоліків систем з використанням x86 комп'ютерів і Mikrotik можна віднести меншу стабільність, ніж у класичних маршрутизаторів, відсутність підтримки деяких поширених пропрієтарних функцій (наприклад, Netflow).

Розглянемо переваги апаратних серверів доступу:

а) надійність і стабільність роботи;

б) хороша документація по функціям та типовими схемами роботи;

в) уніфікація з іншим обладнанням виробника.

Недоліки апаратних серверів доступу:

а) дорожнеча в порівнянні з програмними серверами x86 архітектури;

б) менші можливості: лише невелика кількість апаратних маршрутизаторів дозволяє одночасно організувати сервер доступу, обмеження швидкостей, і складну маршрутизацію трафіку в поєднанні з QoS.

Приймемо рішення зупинитися на сервері доступу на x86 архітектурі. В якості ОС для сервера доступу виберемо MikrotikRouterOS. Таке рішення зможе одночасно виконувати функції маршрутизатора і сервера доступу, виконувати роль сервера для веб-авторизації за технологією Captive-Portal.

Проектування мережі. Розглянемо схему офісного приміщення (рис. 3.4).

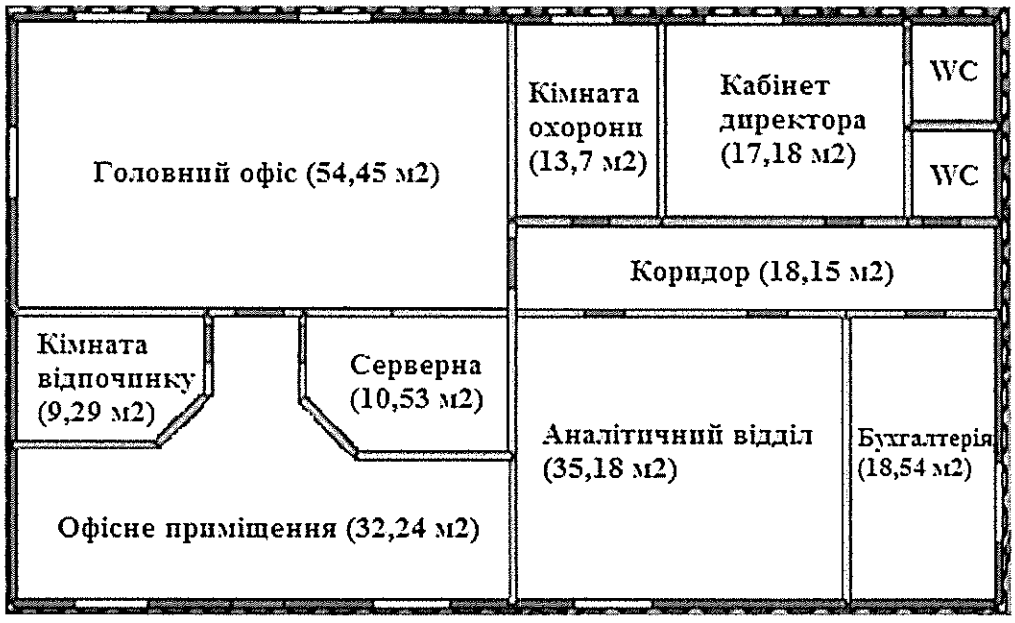


Рис. 3.4. Схема офісного приміщення

При установці точок доступу необхідно перш за все спиратися на плановане навантаження. Також важливий момент - дальність дії точок доступу і перешкоди, що утрудняють поширення радіосигналу. При швидкостях близько 3 Мбіт/с

точкою доступу D-Link DAP-2690 можуть стабільно працювати з 20-25 з'єднаними клієнтами. Приймемо, що в середньому точки доступу повинні працювати з 20 одночасно з'єднаними клієнтами, для того, щоб був запас по потужності і пропускної здатності. Дальність розповсюдження сигналу всередині приміщень при роботі в стандарті 802.11n в середньому становить 40 м.

На плані є центральний офіс (54,45 м^2), кімната охорони (13,7 м^2), офісне кабінети (32,24 м^2), аналітичний відділ (35,18 м^2), кабінет директора (17,18 м^2), кімната відпочинку (9,29 м^2), серверна (10,53 м^2), бухгалтерія (18,54 м^2). Окрім того, є коридор (18,15 м^2) та два туалети (по 2,5 м^2). Загальна площа цього офісу – 220 м^3.

За санітарними правилами і нормами на 1 офісного службовця припадає близько 6 м^2 робочого простору. Додамо сюди простір для вільного переміщення - отримаємо 9 м^3. Площа офісного приміщення становить 220 м^2, таким чином, в середньому в будівлі працюватиме 220/9 = 25 осіб. З урахуванням того, що одна точка доступу повинна одночасно обслуговувати до 20 клієнтів, на один поверх має припадати не менше двох точок доступу.

На схемі зображено офіс, в якому знаходиться 8 робочих кабінетів. Через капітальні стіни сигнал Wi-Fi проникає слабко (ослаблення сигналу становить 12 ... 20 дБ). З урахуванням даних умов необхідно розподілити точки доступу по поверху [28].

Бажано розташовувати точки доступу таким чином, щоб кожна з них покривала заздалегідь якомога більшу територію, обмежену природними перешкодами (наприклад, кілька кабінетів). Так як будівля виконана з цегли, то будемо використовувати 2 точки доступу.

Виходячи з усіх вищенаведених міркувань, обраний наступний варіант розміщення точок доступу в офісі представлений на рис. 3.5.

Таким чином, передбачається, що 2 точки доступу забезпечать надійне з'єднання для працівників, які працюють на підлозі.

Для оптимального поширення радіосигналу пропонується розміщувати точки доступу на висоті 1,5 метра. Це дозволить максимізувати розповсюдження

сигналу від антени, зберігаючи при цьому більшу частину потужності розповсюджуваного радіосигналу в межах розташування мобільних пристроїв. При такому розташуванні точок доступу майже по всьому поверху рівень сигналу становить від -20 до -60 дБм, що дозволяє працювати зі швидкістю 300 Мбіт / с.

Надійний прийом сигналу Wi-Fi досягається по всій будівлі. Дані про аналіз перешкод показують, що, хоча воно присутнє, але його значення не велике і має тенденцію до 0. Аналіз швидкості передачі в охопленій зоні показує, що майже на всій площі підлоги швидкість з'єднання в будь-який час повинна бути 300 Мбіт . Таким чином, виконуються умови, зазначені в технічному завданні.

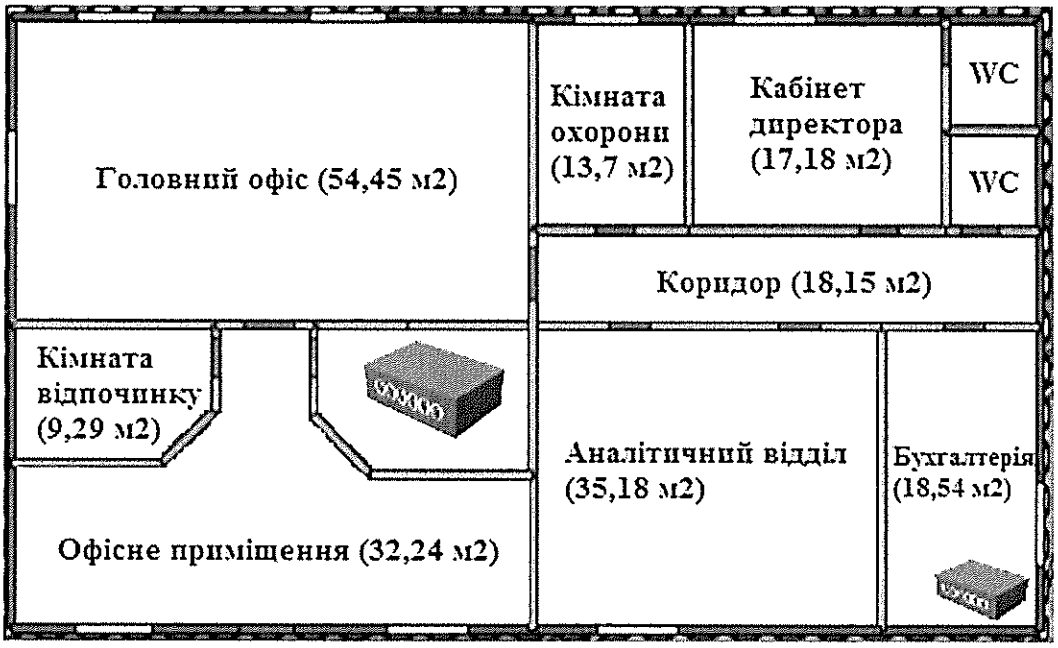


Рис. 3.5. Розташування точок доступу в приміщенні

3.2 Проектування комп'ютерної мережі на базі стандарту 802.11ax

На основі п. 3.1, побудуємо аналогічну мережу для ідентичного офісного приміщення - IEEE 802.11ax, реалізуючи таким чином певне удосконалення первинної мережі.

Стандарт 802.11ax – це стандарт безпроводових локальних мереж Wi-Fi на частотах 5-6 ГГц, що здатний забезпечити швидкість передачі даних до 6 Гбіт/с в

разі, якщо обидва пристрої підтримують цю технологію. Стандарт передбачає використання до 8 антен MU-MIMO та розширення каналу до 80 або 160 МГц.

При прийнятті рішень щодо розгортання безпроводової локальної мережі (WLAN) необхідно враховувати [29]:

- особливості роботи протоколу 802.11ax;
- поведінку мобільних вузлів;
- питання захисту:
- якість зв'язку в цілому та для різних типів додатків зокрема (QoS):
- сервіси та додатки, котрі будуть використовуватись клієнтами.

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 802.11ax і потужним антен, дана точка доступу чудово підходить для установки в будь-яких приміщеннях. На рис. 3.6 представлений зовнішній вигляд обраної точки доступу.

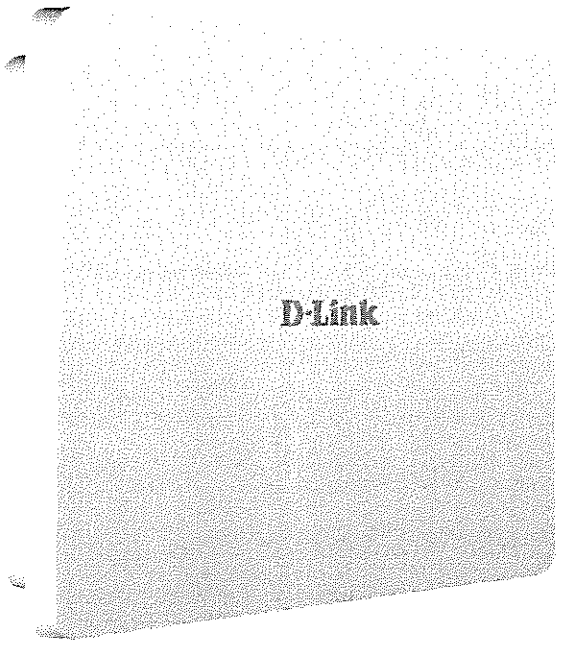


Рис. 3.6. Точка доступу D-Link DAP-3662

Перевагами D-Link DAP-3662 є:

1) 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 пріоритезувати 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-3663. 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.

2) 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.

3) 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 APBroadcast), 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.

4) Багатофункціональність:

DAP-3662 дозволяє створювати керовану і надійну безпроводову мережу з оптимальним покриттям як в частотному діапазоні 5 ГГц (802.11a, 802.11n і802.11ax), так і в діапазоні 2,4 ГГц (802.11b, 802.11g і 802.11n).

5) 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 самий економлячи електроенергію. Завдяки високій керованості, надійним функцій безпеки, підтримці PoE і кільком режимам роботи, точка доступу DAP-3662 є найбільш оптимальний рішенням, що дозволяє створити безпроводову мережу [30].

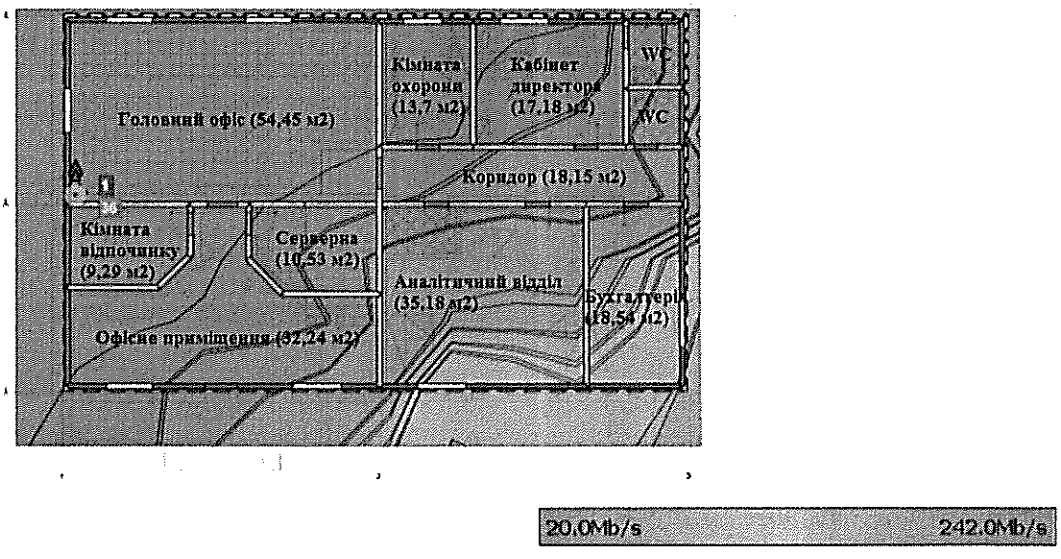


Рис. 3.7. Результати аналізу пропускної здатності точки доступу в змішаному режимі

Проектування мережі. 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 вхідні двері (13дб) та вікна (3дб).

Обране мною обладнання може працювати як на частоті 5 ГГц, так і на частоті 2,4 ГГц, а також є змішаний режим (802.11n + 802.11ax).

На рис. видно, що площа кімнати пофарбована в різні кольори, залежно від смуги пропускання в цій зоні. Шкала відповідності швидкості передачі даних (у цьому випадку вона градується від 20 Мб / с до 242 Мб / с) кольору знаходиться в правому нижньому куті вікна програми.

Як бачите, в головному офісі, де встановлена точка доступу, швидкість передачі даних найвища і майже вся площа становить 242 Мбіт / с. Але чим далі від точки доступу, тим більше вона зменшується і є найнижчою (зі значенням близько 80 Мбіт / с) в районі найдальшого офісу.

Давайте проаналізуємо пропускну здатність при роботі в діапазоні 5 ГГц. Це відповідає стандарту 802.11ax. Результати аналізу показані на рис. 3.8.

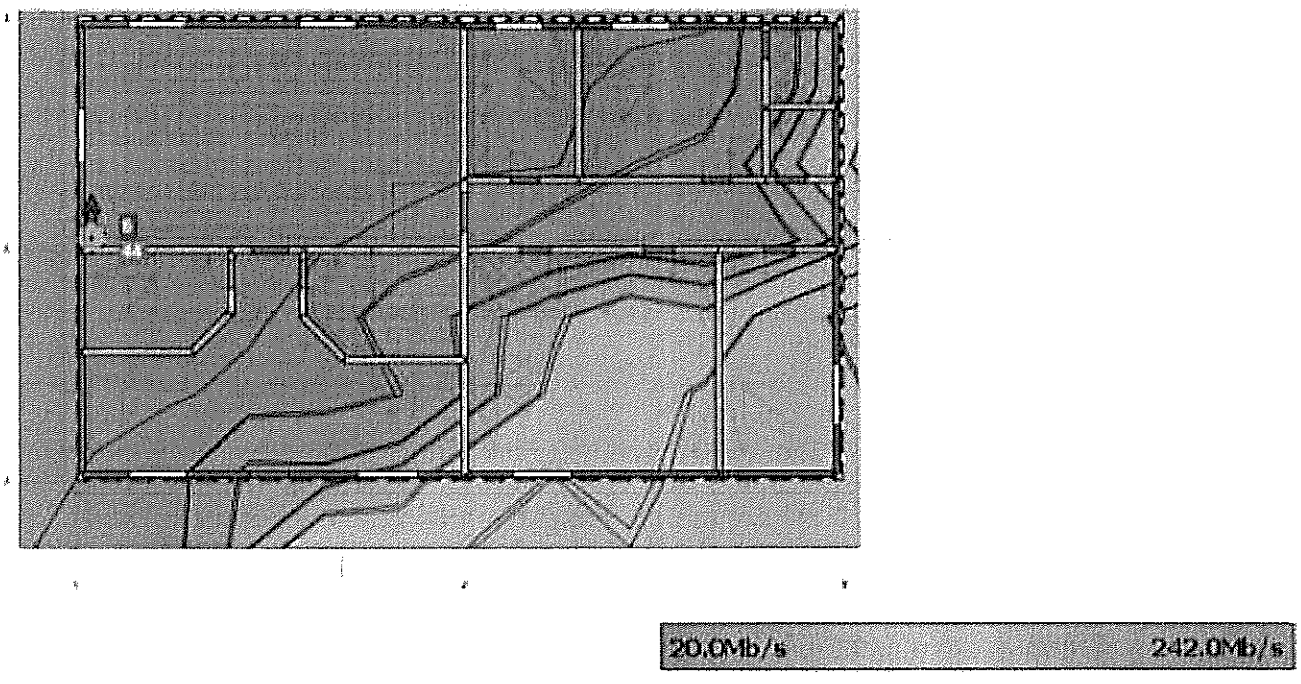


Рис. 3.8. Результати аналізу пропускної здатності точки доступу в режимі 802.11ax

Загальна тенденція зниження швидкості по мірі віддалення від точки доступу зберігається, значення максимальної швидкості залишається незмінним та рівним 242Мб/с, а 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 діапазоні 2,4 ГГц (стандарт 802.11n [31]). Результати - на рис. 3.9.

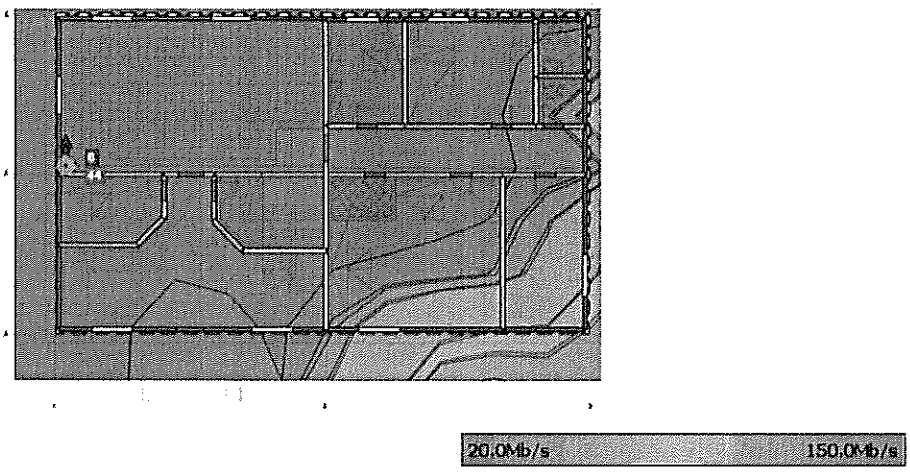


Рис. 3.9. Результати аналізу пропускної здатності точки доступу в режимі 802.11n

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 дослідами) падінням швидкості до 130 Мб/с в частині кімнати відпочинку.

Аналіз рівня сигналу однієї точки доступу. Наразі проведемо аналіз рівня сигналу в змішаному режимі (802.11n + 802.11ax), коли Access Point працює в частотах 2,4 ГГц і 5 ГГц одночасно. Результати наведені на рис. 3.10.

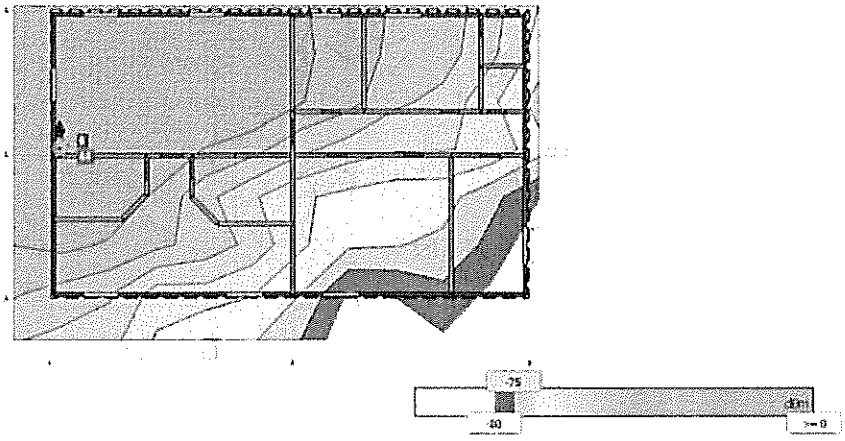


Рис. 3.10. Аналіз рівня сигналу в змішаному режимі

З рис. видно, що затухання сигналу в кімнаті відпочинку становить 80 дБм. Тепер виконаємо аналіз рівня сигналу в режимі 802.11ax. Результати аналізу представлено на рис. 3.11.

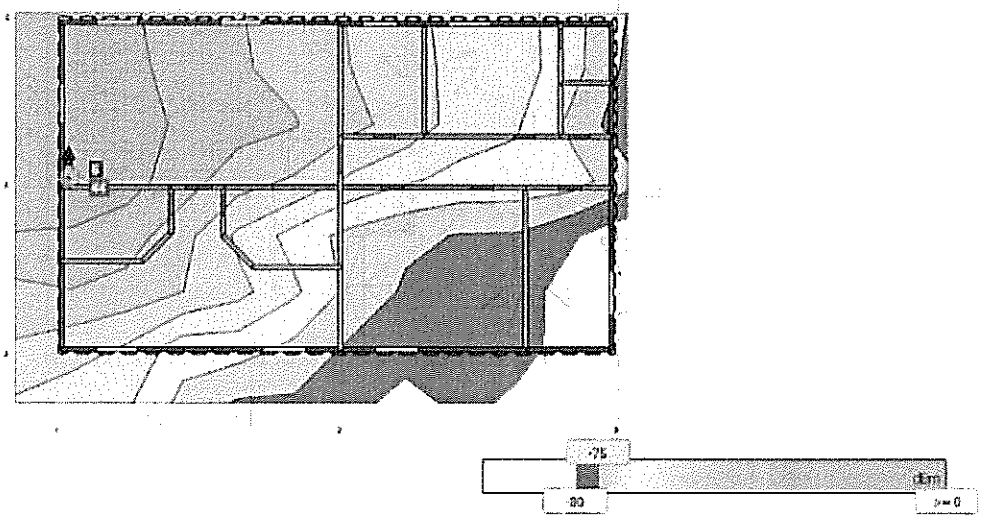


Рис. 3.11. Результат аналізу рівня сигналу в режимі 802.11ax

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

Зараз виконаємо аналіз рівня сигналу в режимі 802.11n, коли точка доступу працює на частоті 2,4 ГГц. Результати представлено на рис. 3.12.

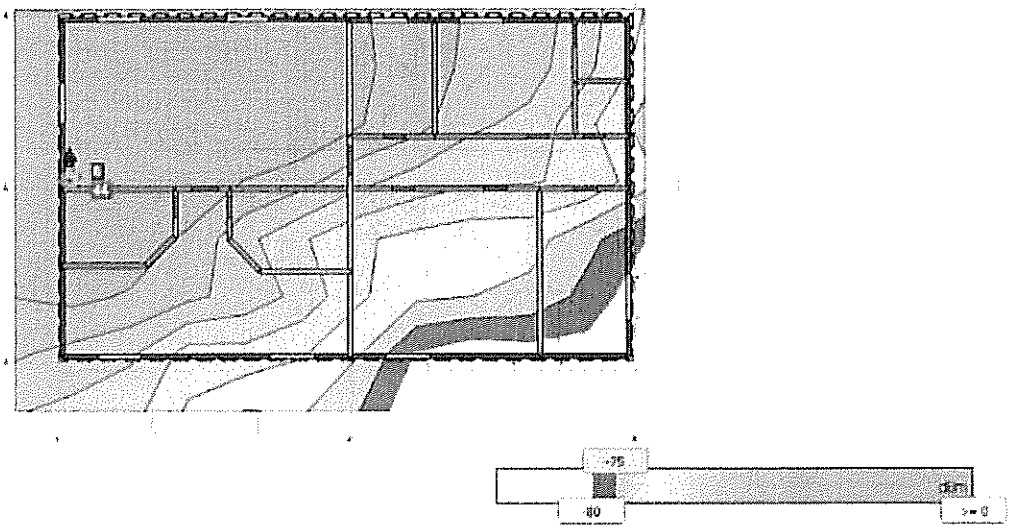


Рис. 3.12. Результат аналізу рівня сигналу в режимі 802.11n

Отримані результати аналогічні тим, що були в змішаному режимі.

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.

Аналіз пропускної здатності двох точок доступу. Спочатку виконаємо аналіз пропускної здатності (швидкості) двох точок доступу в змішаному режимі (802.11n + 802.11ax [32]). Результати аналізу наведено на рис. 3.13.

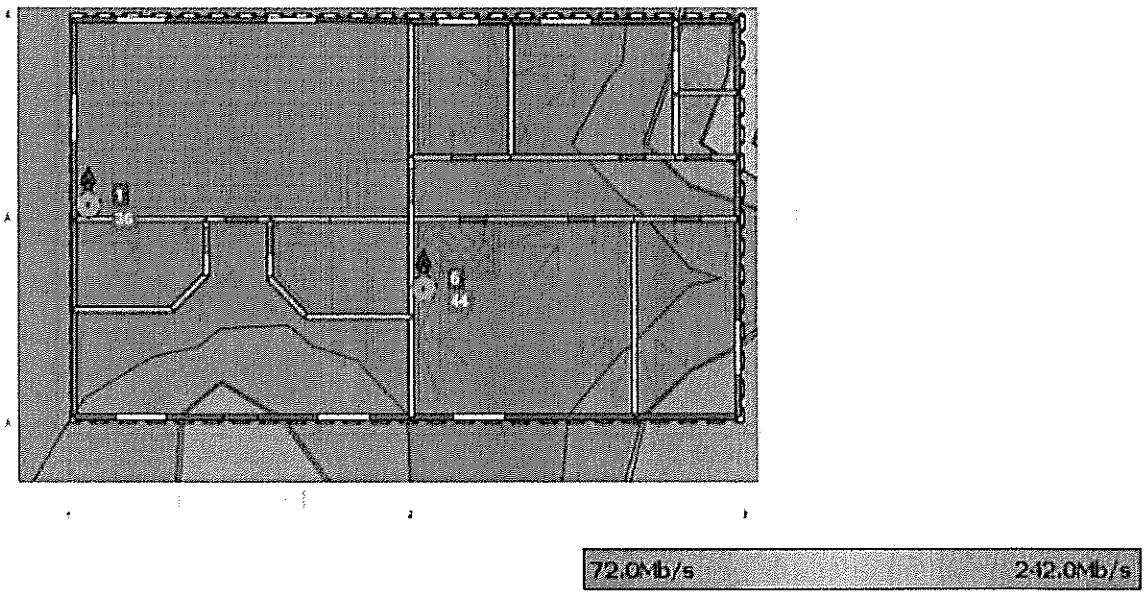


Рис. 3.13. Результати аналізу пропускної здатності точок доступу в змішаному режимі

Максимальна швидкість - 242 Мб/с - 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 і значно краще випадку з однією АР. Щоправда, в декількох 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 5 ГГц, що відповідає стандарту 802.11ax. Результати аналізу наведено на рис. 3.14.

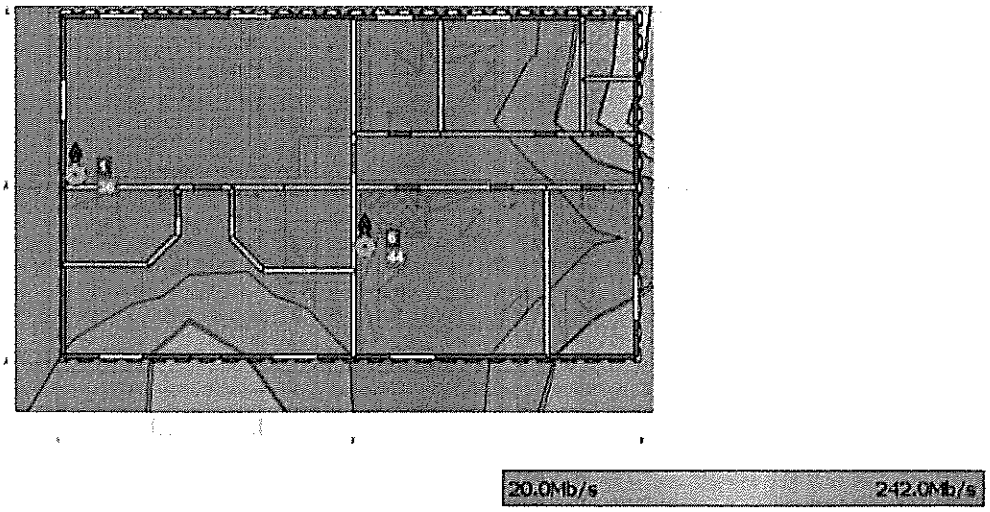


Рис. 3.14. Результати аналізу пропускної здатності точок доступу в режимі 802.11ax

Отримані результати повністю повторюють результати аналізу змішаного режиму роботи. Тепер проаналізуємо пропускну здатність при роботі в частотному діапазоні 2,4 ГГц, що відповідає стандарту 802.11n. Результати аналізу продемонстровані на рис. 3.15.

На всій площі спостерігається майже однакова швидкість (на рівні 148-150 Мб/с). Області, в яких спостерігалося 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 802.11ax та змішаному режимі).

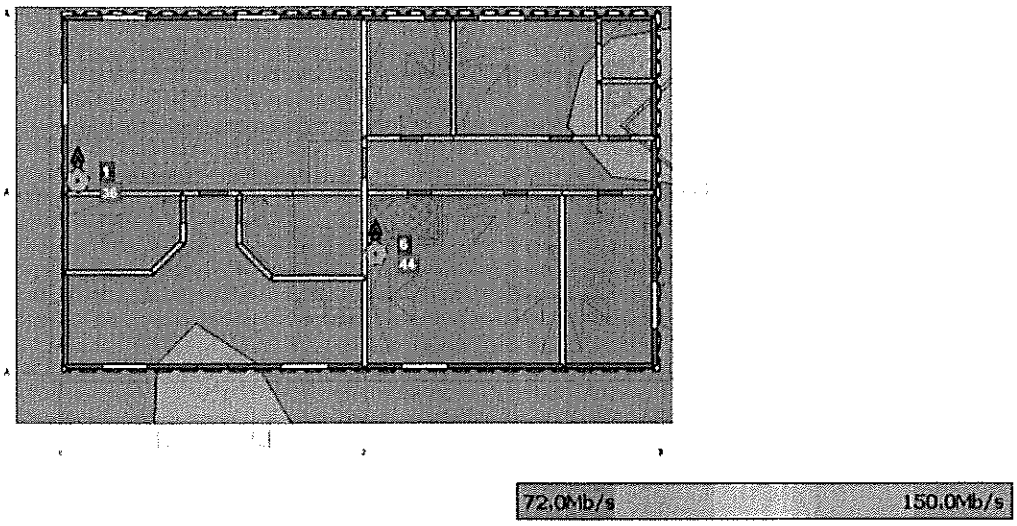


Рис. 3.15. Результати аналізу пропускної здатності точок доступу в режимі 802.11n

Це пояснюється тим, що стандарт 802.11ax загалом має більшу пропускну здатність. А те, що в згаданих режимах отримана картина покриття була нерівномірна 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.

Аналіз рівня сигналу двох точок доступу. А зараз виконаємо аналіз рівня сигналу в змішаному режимі (802.11n + 802.11ax), коли обидві точки доступу працюють в частотах 2,4 ГГц та 5 ГГц одночасно [33]. Результати аналізу наведено на рис. 3.16.

Рівень сигналу знаходиться на дуже високому рівні на всій площі приміщення. Тепер виконаємо аналіз рівня сигналу в режимі 802.11ax, коли точки доступу працюють на частоті 5 ГГц. Результати аналізу можна побачити на рис. 3.17.

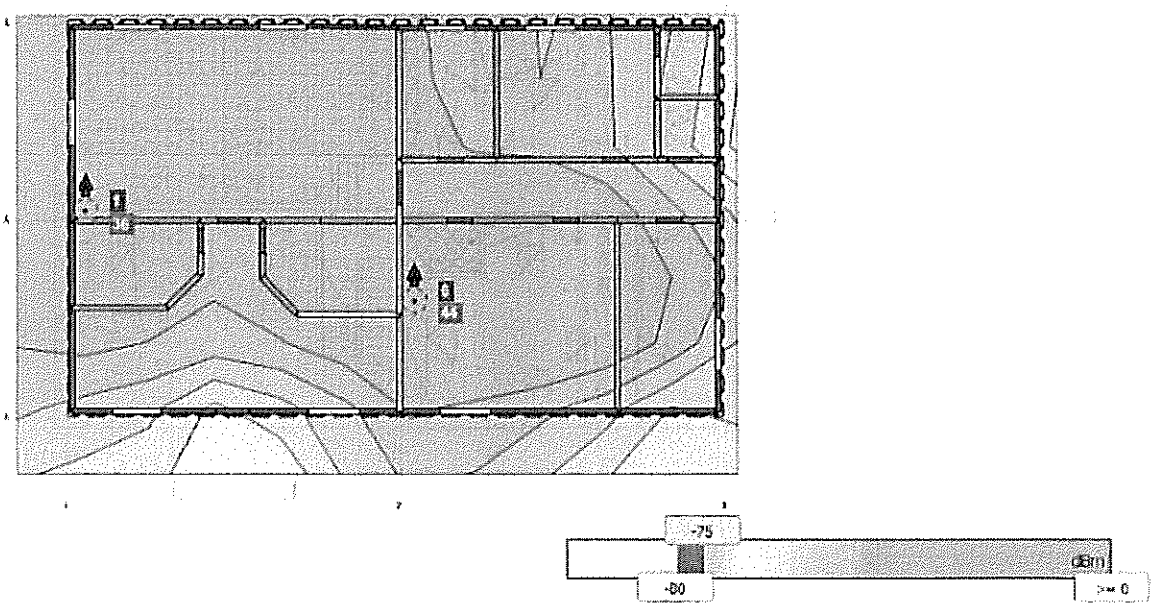


Рис. 3.16. Результат аналізу рівня сигналу в змішаному режимі

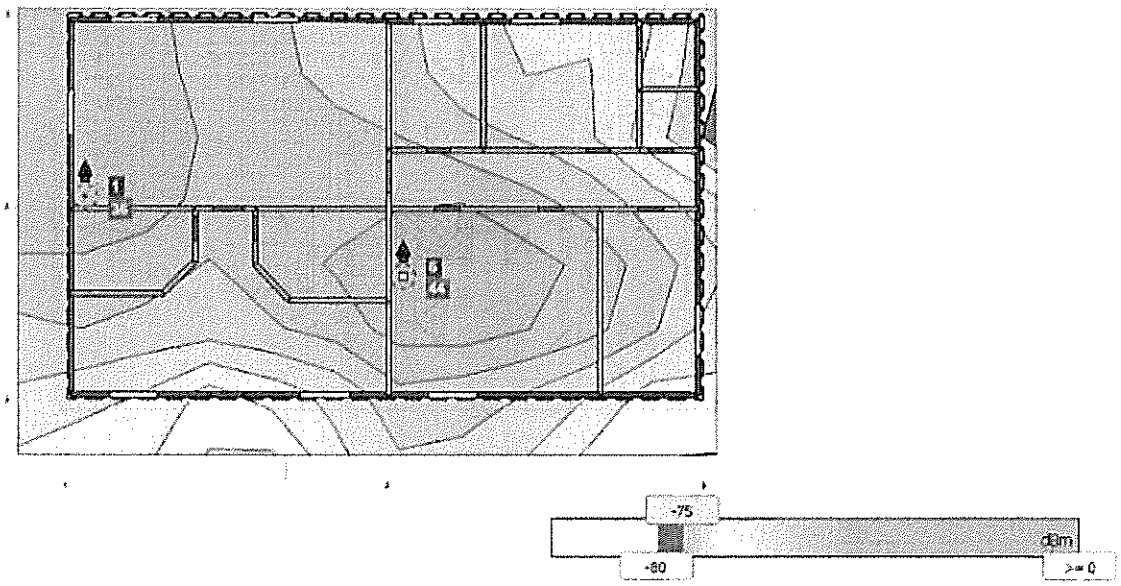


Рис. 3.17. Результат аналізу рівня сигналу в режимі 802.11ax

В офісних приміщеннях, які знаходиться по краю плану можна спостерігати незначне послаблення сигналу. Тепер виконаємо аналіз рівня сигналу в режимі 802.11n, коли точки доступу працюють на частоті 2,4 ГГц. Результати аналізу наведено на рис. 3.18.

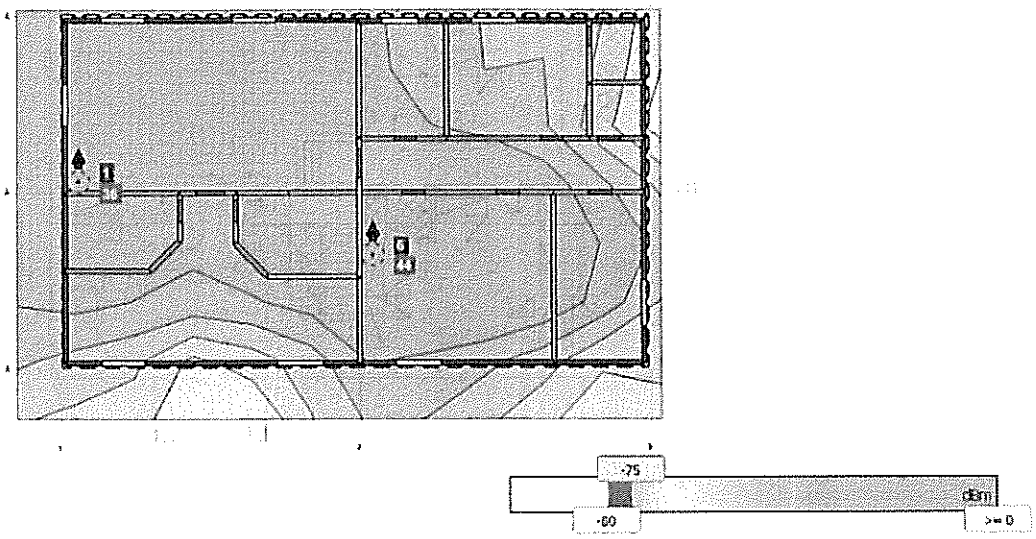


Рис. 3.18. Результат аналізу рівня сигналу в режимі 802.11n

Отримані результати краще, ніж результати аналізу змішаного режиму.

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

ВИСНОВКИ

В рамках магістерської роботи досліджено методи удосконалення комп'ютерних мереж на базі стандарту 802.11ax для підвищення ефективності підвищення пропускної здатності. А саме: в роботі досліджено використання безпроводових мереж та концепції побудови мережі, застосуванням різних методів та технологій, розглянуто основні технології придатні для побудови комп'ютерних мереж на базі стандарту 802.11. На основі аналізу отриманих теоретичних даних побудовано корпоративну мережу за технологіями Ethernet/WLAN для підприємства.

У процесі виконання магістерської роботи мета була досягнута, а поставлені завдання вирішені. У роботі було проаналізовано основні джерела по обраній темі.

У другому розділі розроблено децентралізваний метод розподілу каналів у Wi-Fi-мережах для підвищення ефективності підвищення пропускної здатності, в основу якого було покладено принцип цільової координації, найбільш підходящий за технологічними і обчислювальним особливостям розв'язуваної задачі. Особливістю методу є введення структурної та функціональної Wi-Fi-архітектури mesh-станцій. При цьому при використанні запропонованого методу розподілу каналів значно скорочується розмірність завдання першого рівня без істотного навантаження координаторів другого рівня. З технологічної точки зору це сприяло мінімізації інерційності управління та обсягів інформації про стан mesh-мережі, яку необхідно постійно оновлювати в ході оптимізації розподілу каналів, а в підсумку свідчило про підвищення масштабованості отриманих у роботі рішень.

У ході досліджень встановлено, що використання запропонованого в роботі децентралізованого методу розподілу каналів дозволяє підвищити продуктивність mesh-мережі в порівнянні з методом МРК в середньому в 1.5-1.7 рази.

У третьому розділі змодельовано покриття мережі Wi-Fi в офісному приміщенні, яке складається з одинадцяти кімнат, з використанням програми

«Ekahau Site Survey» версії 8.6.3 на основі розробленого в 2 розділі методу. Для моделювання використано безпроводову дводіапазонну точку доступу D-Link DAP-3662, бо вона є кращим рішенням для створення зон hot spot.

Для отриманої моделі проведено аналіз пропускної здатності та рівня сигналу в різних режимах роботи: в стандарті 802.11n (на частоті 2,4 ГГц), в стандарті 802.11ax (на частоті 5 ГГц) та в змішаному режимі, коли точка доступу одночасно підтримує обидва стандарти 802.11n та 802.11ax (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 802.11ax – 242-20 Мбіт/с;

– для 802.11n – 242-20 Мбіт/с.

Для комфортного перегляду відео високої чіткості необхідна пропускна 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 802.11ax – 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.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Абрамов В.О. Базові технології комп'ютерних мереж / В. О. Абрамов, С.Ю. Клименко. – Київ: 2019.– 234 с.

2. Берлін А. Н. Абонентські мережі доступу та технології високошвидкісних мереж / А. Н. Берлін. – Київ: 2016. – 277 с.

3. Берлін А. Н. Високошвидкісні мережі зв'язку / А. Н. Берлін. – Київ: 2016. –452 с.

4. Валецька Т.М. Комп'ютерні мережі. Апаратні засоби / Т. М. Валецька. – Київ: 2018. – 208 с.

5. A. Behara and T. G. Venkatesh, "Fluid-Limit Model for Dynamic MU-OFDMA Resource Allocation of Wi-Fi6 Networks", IEEE Communications Letters, 2022.

6. Клименко С.Ю. Комп'ютерна мережа за день. Як на базі обладнання D-Link розгорнути провідну та Wi-Fi мережу / С. Ю. Клименко - Київ: 2018. –256 с.

7. Клименко С. Ю. Комп'ютерна мережа за один день / С. Ю. Клименко, О. С. Клименко, А. В. Нікітін. – Київ: 2016. –221.

8. A. Valkanis, A. Iossifides, M. Chatzimisios, Periklis and Angelopoulos, "IEEE 802.11ax Spatial Reuse Improvement: An Interference-Based Channel-Access Algorithm", IEEE Vehicular Technology Magazine, 2019.

9. Оліфер В. Г. Основи мереж передачі даних: вступний курс / В. Г. Оліфер, Н. А. Оліфер. – Київ: 2016. –192 с.

10. П'ятибратов А. П. Обчислювальні машини, мережі та телекомунікаційні системи: навчально-методичний комплекс / А. П. П'ятибратов, Л. П. Гудино, А. А. Кириченко. – Київ: 2016. –292 с.

11. F. Wilhelmi, S. Barrachina-Muñoz, C. Cano, B. Selinis, Ioannis and Bellalta, "Spatial Reuse in IEEE 802.11ax WLANs", Computer Communications, 2019.

12. L. Lanante and S. Roy, "Performance Analysis of the IEEE 802.11ax OBSS PD-Based Spatial Reuse", IEEE/ACM Transactions on Networking, 2022.

13. R. Kajihara, H. Wenkai, L. Lanante, M. Kurosaki and H. Ochi,

"Performance Analysis Model of IEEE 802.11 CSMA/CA for Multi-BSS Environment", IEEE 31st Annual International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications, 2020

14. Ekram Hossain Wireless Mesh Networks: Architectures and Protocols/Ekram Hossain, Kin Leung // Springer – London, 2018. – 351 p.

15. Akyildiz I. A survey on wireless mesh networks/I. Akyildiz, W.Wang // IEEE Communications Magazine – 2017. – Vol. 43, no. 9. – P. 523 – 530.

16. Merlin S. Resource allocation in multi-radio multi-channel multi-hop wireless networks/S. Merlin, N. Vaidya, M. Zorzi // In Proc. INFOCOM – 2018. – P. 610 – 618.

17. Faccin S.M. Mesh WLAN networks: concept and system design/S.M. Faccin, C. Wijting, J. Kenckt, A. Damle // IEEE Wireless Communication – 2016. – Vol 13, No. 2. – P. 168 – 179.

18. Aggielou G. Forecasting Network Disconnections in Mobile Wireless Mesh Networks/Aggielou G. // Submitted for publication, IEEE Journal on Selected Areas in Communications – 2018. – P. 62 – 70.

19. Akyilidiz I. F. Wireless mesh networks: a survey/I. F. Akyilidiz, X. Wang, W. Wang, // Computer Networks – Vol. 47. – 2016. – P. 445 – 487.

20. Duffy K. Modeling 802.11 mesh networks/K. Duffy, D.J. Leith, T. Li, D. Malone // IEEE Comm. Magazine. – New York: 2017. – Vol. 10, no 6. – P. 635 – 637.

21. Вимоги, що пред'являються до сучасних обчислювальних мереж [Електронний ресурс] // – Режим доступу: http://matveev.kiev.ua/archnet/glava1/006.htm. (дата звернення 16.10.2023)

22. Класифікація комп'ютерних мереж [Електронний ресурс] // – Режим доступу: http://comp-net.at.ua/index/klasifikacija_komp_juternikh_merezh/0-4 (дата звернення 16.10.2023)

23. Класифікація комп'ютерних мереж [Електронний ресурс] // – Режим доступу: http://moyaspecialnoct.blogspot.com/2016/12/blog-post.html (дата звернення 16.10.2023)

24. Способи організації мереж [Електронний ресурс] // – Режим доступу: http://litr.at.ua/publ/komp_juterni_tekhnologiji_v_juridichnij_dijalnosti/tema_1/klasifikacija_komp_39_juternikh_merezh/8-1-0-11 (дата звернення 20.10.2023)

25. Безшовний Wi-Fi [Електронний ресурс] // – Режим доступу: https://treolink.com/articles/wifi-roaming (дата звернення 20.10.2023)

26. Мережеве обладнання [Електронний ресурс] // – Режим доступу: https://mikrotik.com/katalog/katalog/complete_solution/wifi_roaming_5 (дата звернення 20.10.2023)

27. Firewall [Електронний ресурс] // – Режим доступу: http://speed-tester.info/info_17_chto_takoe_firewall_i_dlja_chego_on_nuzhen_faervol_dlja_setevoj_zaschity_kompjutera.html (дата звернення 24.10.2023)

28. Точка доступу [Електронний ресурс] // – Режим доступу: https://www.ubnt.com/unifi/unifi-ap-ac-lr/ (дата звернення 24.10.2023)

29. Сучасні технології мереж Wi-Fi [Електронний ресурс] // – Режим доступу: https://www.imena.ua/blog/in-5g-era-wi-fi-matters/ (дата звернення 10.11.2023)

30. I. Selinis, K. Katsaros, S. Vahid and R. Tafazolli, "Control OBSS/PD Sensitivity Threshold for IEEE 802.11ax BSS Color", 2018 IEEE 29th Annual International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), pp. 1-7, 2018.

31. Еволюція швидкості передачі даних в мережах Wi-Fi. URL: https://habr.com/post/254559/ (дата звернення 10.11.2023)

32. Варіанти побудови мережі хотспоту [Електронний ресурс] // – Режим доступу: wifihotspot.zp.ua/hotspot-description/1-articles/47-networks. (дата звернення 16.11.2023)

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Доповідь по магістерській роботі на тему:

Методи самоорганізації в безпроводових мережах з метою підвищення пропускної здатності

Студента Криворучка Романа Сергійовича

Мета роботи

Мета роботи полягає в удосконаленні безпроводової телекомунікаційної архітектури стандарту 802.11.

Об'єкт дослідження - процес функціонування мережах стандарту 802.11.

Предмет дослідження - методи організації телекомунікаційних мереж для підвищення їх ефективності.

Способи підвищення продуктивності безпроводової мережі

Рівні моделі OSI	Способи підвищення продуктивності	Підвищення продуктивності
Мережовий рівень	Маршрутизація	до 1,5-2 рази
Канальний рівень	Використання багатоканальних mesh-мереж	до 2-3 рази
	Використання технологии MIMO Об'єднання каналів	до 1,5 –1,8 рази
Фізичний рівень	Використання технологій інтелектуальних антенних решіток Зміна територіального місцезнаходження станцій Рознесення сигналу по поляризації	до 1,3-1,7 рази

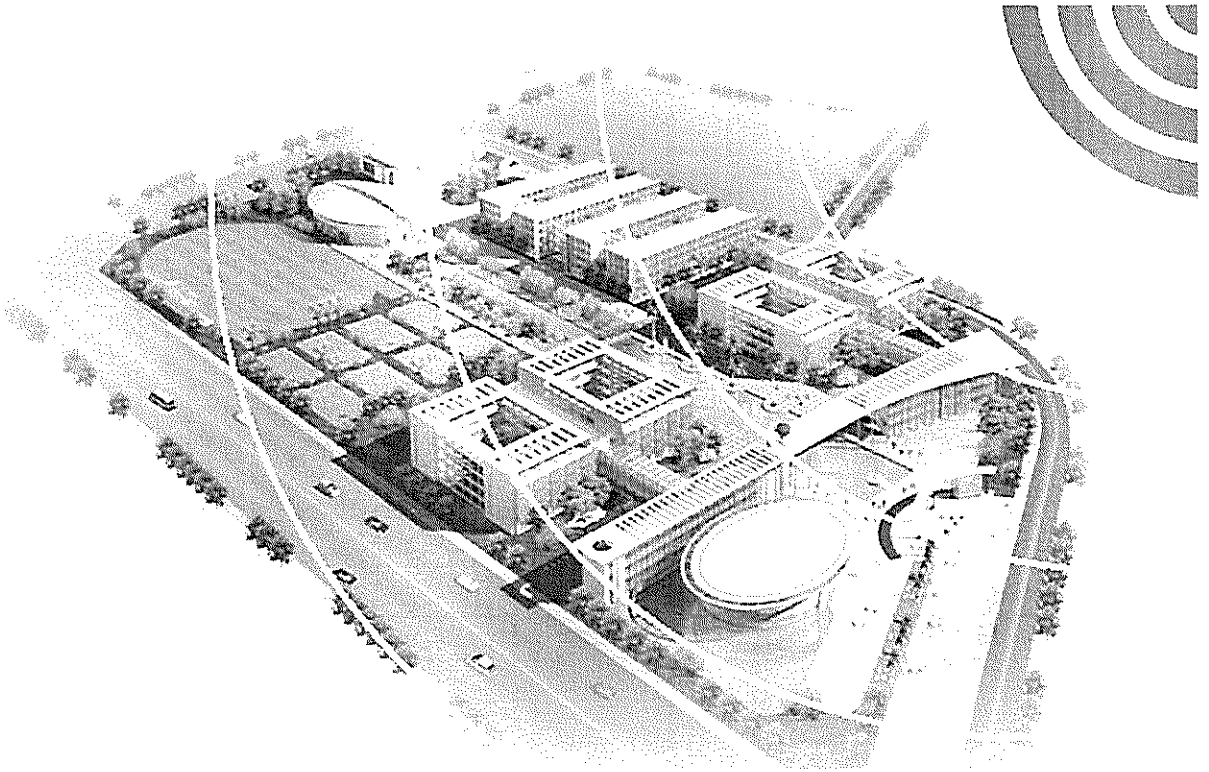
Області застосування mesh-мереж

в котеджних селищах і віддалених районах

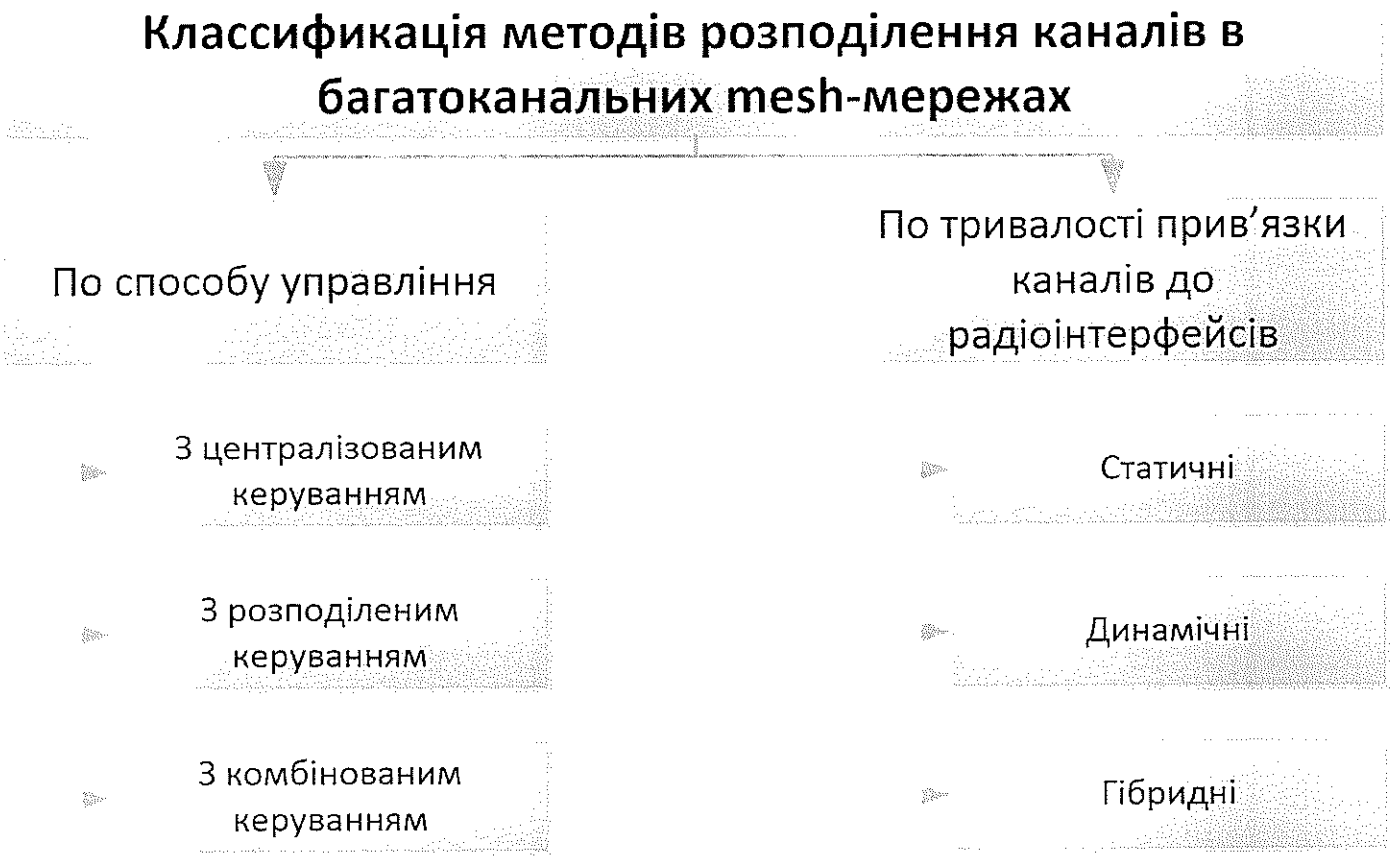
в корпораціях, галузевих і комерційних підприємствах

окремі офіси та офісні приміщення

в будівлях для медичних систем, систем безпеки та спостереження



Класифікація методів розподілення каналів в багатоканальних MESH-мережах



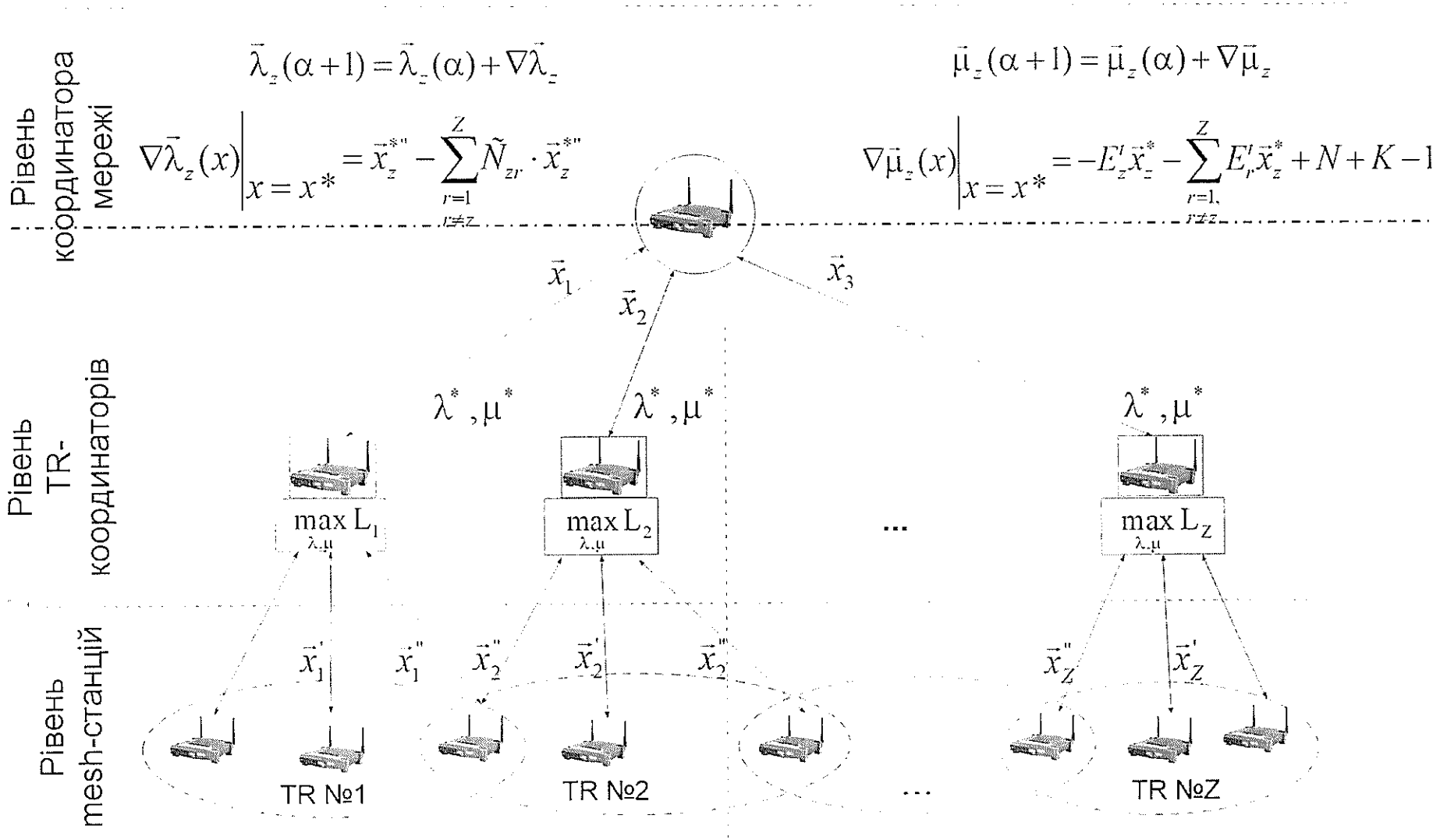
Опис алгоритмів роботи методів розподілу каналів

З централізованим керуванням. Кожний з mesh-пристроїв містить в собі кілька радіоінтерфейсів, кожен з яких налаштований на певний канал на відносно довгий час (хвилини, години, дні). В мережі призначається один головний пристрій, який визначає початкове навантаження мережі та призначення каналів. Такий метод використовується в невеликих мережах, що рідко змінюють зв'язки.

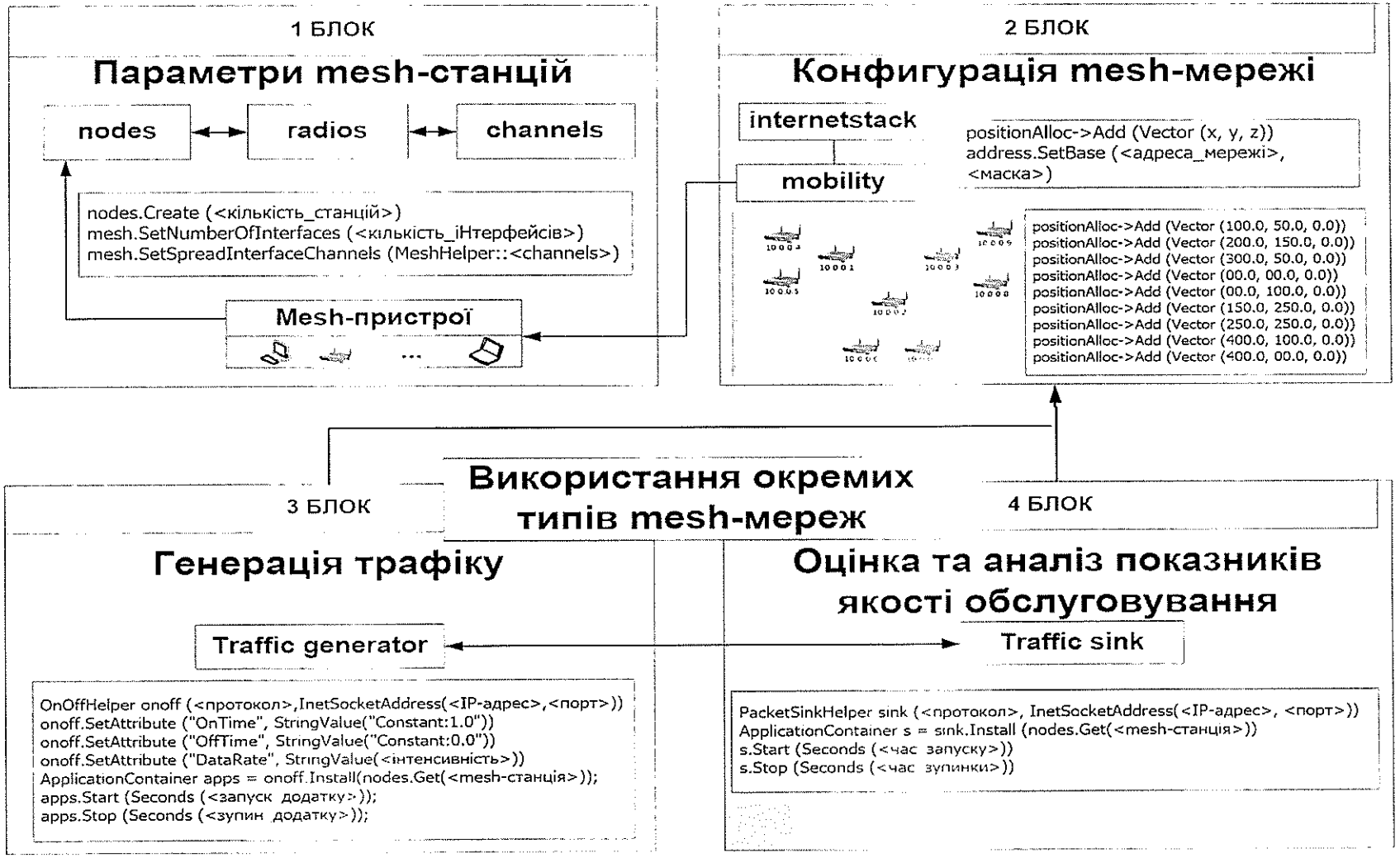
З розподіленим керуванням. Утворення мережі відбувається кожним пристроєм окремо у вигляді деревовидної топології. Такий метод використовується в невеликих, недовготривалих мережах. В цьому випадку канали динамічно міняються в залежності від наявності вузлів.

З комбінованим керуванням. Мережа централізовано розбивається на кластери деревовидної топології, де головним є шлюз між mesh-мережею та проводовим каналом, однак найбільш віддалений вузол стає головним у новому кластері і так відбувається до тих пір поки мережа збалансується. Такий метод використовується в невеликих мережах.

Структура ієрархічно-координаційного методу розподілу каналів

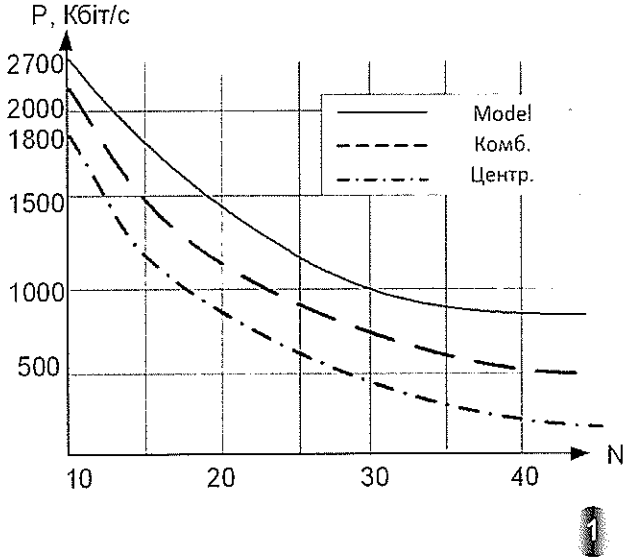


Імітаційна модель розподілу каналів у багатоканальних mesh-мережах



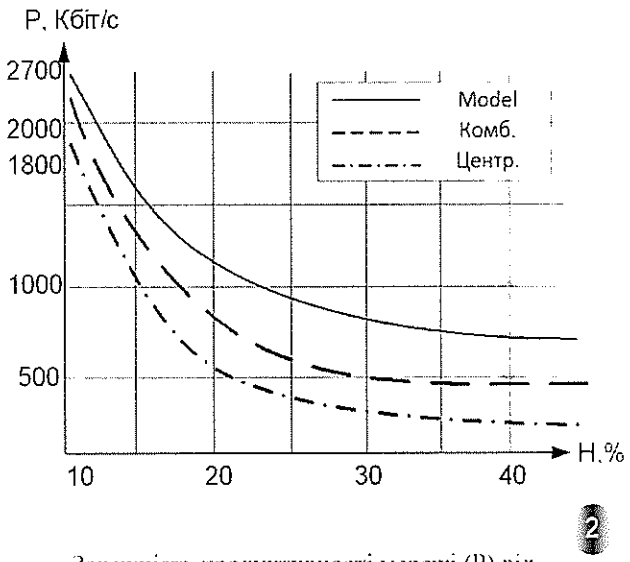
Для проведення імітаційного моделювання в роботі використовувався пакет Network Simulator. Вибір пакета обумовлений наявністю необхідної математичної підтримки, що дозволило генерувати різні види трафіку в mesh-мережах.

Дослідження продуктивності mesh-мереж в залежності від їх типу



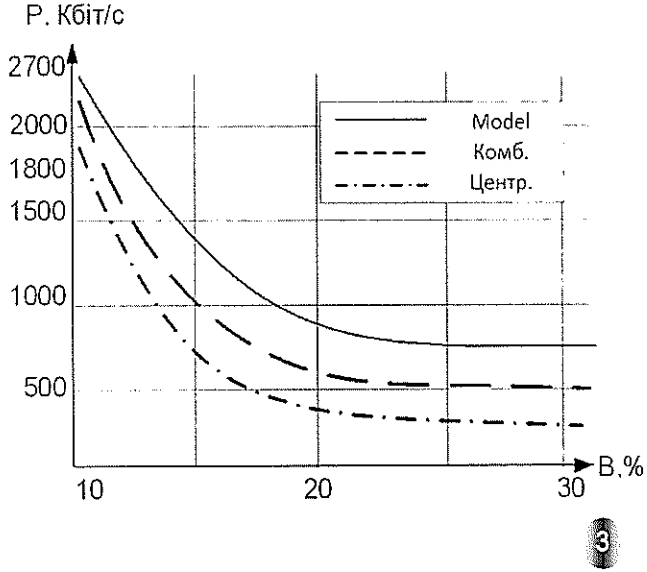
1

Залежність продуктивності (P) багатоканальної mesh-мережі від кількості mesh-станцій (N)



2

Залежність продуктивності мережі (P) від нерівномірності гериторіальної віддаленості станцій (H)



3

Залежність продуктивності мережі (P) від нерівномірності активності mesh-станцій (B)

Висновки

За підсумками рішення поставленої наукової задачі зроблено такі висновки:

1. У роботі показано, що на даному етапі розвитку телекомунікаційних систем безпроводові мережі знаходять своє все більш широке використання. У зв'язку з цим у роботі проаналізовано існуючі способи підвищення продуктивності безпроводових мереж і відзначено, що найбільш перспективним напрямком є використання багатоканальних mesh-мереж стандарту IEEE 802.11, який на тлі інших способів має суттєві переваги.

2. Згідно з отриманими результатами порівняльного аналізу, як видно з графіків, можна зробити висновки, що практична реалізація запропонованої в магістерській роботі моделі розподілу каналів дозволяє підвищити продуктивність mesh-мережі:

- В середньому в 1.1-1.6 рази в порівнянні з комбінованим методом, в 1.2-1.7 рази в порівнянні з централізованим методом (рис. 1) при збільшенні кількості станцій;

- В середньому в 1.4-1.9 рази в порівнянні з комбінованим методом, в 1.4-2 рази порівняно з централізованим методом (рис. 2) при зростанні територіальної віддаленості mesh-станцій;

- В середньому в 1.3-1.7 рази в порівнянні з комбінованим методом, в 1.3-1.8 рази в порівнянні з централізованим методом (рис. 3) при варіюванні активності mesh-станцій.

Апробація результатів магістерської роботи

Основні результати магістерської роботи доповідалися на Всеукраїнській науково-практичній конференції «Telecommunication: problems and innovation», Київ: ДУІКТ, 20 грудня 2023 р.

Основні наукові результати магістерської роботи опубліковано в науковому журналі “Наукові записки ДУІКТ, – 2023, – №2”.

Протокол аналізу звіту подібності науковим керівником

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Роман КРИВОРУЧКО

Назва: Методи самоорганізації в безпроводових мережах з метою підвищення пропускної здатності

Координатор: Віталій СТРЕЛЬНІКОВ

Підрозділ: ННІТ

Коефіцієнт подібності 1 :4.5

Коефіцієнт подібності 2 :0.2

Тривога: 1

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

☑ виявлені в роботі запозичення є сумлінними і не мають ознак плагіату. Тому робота визнається самостійною і допускається до захисту;

☐ виявлені в роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання;

☐ виявлені в роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень. У зв'язку з чим, робота не допускається до захисту.

....

Дата *Підпис Наукового керівника*